

MANUAL DE USO EFICIENTE DA ELETRICIDADE NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA



**MANUAL DE USO EFICIENTE
DA ELETRICIDADE NA
INDÚSTRIA DE CERÂMICA
VERMELHA**

Rio de Janeiro - Brasil

Agosto | 2016

| **Instituição Executora**

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)
Ministro: Gilberto Kassab

| **Instituto Nacional de Tecnologia (INT)**

Diretor Geral: Fernando Cosme Rizzo Assunção

| **Coordenação de Tecnologias Aplicadas**

Coordenador: Antonio Souto de Siqueira Filho

| **Divisão de Energia**

Chefe: Maurício Francisco Henriques Júnior

| **Co-execução**

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE)

| **Programa de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha – Projeto EELA**

Coordenador: Joaquim Augusto Pinto Rodrigues

| **Cooperação Internacional**

Agencia Suiza para El Desarrollo y La Cooperación (COSUDE)
Swiss Foundation for Technical Cooperation (Swisscontact)

| **Autores**

Joaquim Augusto Pinto Rodrigues
Luiz Felipe Lacerda Pacheco
Marcelo Rousseau Valença Schwob
Márcio Américo

| **Revisão**

Alexandre Faccion de Souza
Vinicius Bernardo Vedovi
Renata de Sousa Candido

| **Diagramação**

Fernanda Guimarães

Manual de Uso Eficiente da Eletricidade na Indústria de Cerâmica Vermelha. RODRIGUES, J. A. P. et al. Rio de Janeiro: INT/MCTIC, 2016. 72p. ISBN 978-85-99465-11-0
1. Cerâmica Vermelha, 2. Eficiência Energética, 3. Energia Elétrica.

SUMÁRIO

	APRESENTAÇÃO	5
1	NOÇÕES BÁSICAS DE ELETRICIDADE	7
1.1	ENERGIA ELÉTRICA	7
1.2	GRANDEZAS ELÉTRICAS	9
2	IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA	11
3	ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	13
3.1	ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DE CONSUMO E DE CUSTO ELÉTRICO	13
3.2	MONITORAMENTO DO CONSUMO ELÉTRICO	14
4	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA TARIFÁRIO E INFORMAÇÕES TÉCNICAS..	14
4.1	NÍVEIS DE TENSÃO	15
4.2	ESTRUTURA TARIFÁRIA	16
4.2.1	Estrutura Tarifária Horária Verde	17
4.2.2	Estrutura Tarifária Horária Azul	18
4.2.3	Bandeiras tarifárias	18
4.2.4	Fator de Carga	19
4.2.5	Fator de Potência	20
5	EFICIÊNCIA NO USO DA ENERGIA ELÉTRICA	22
5.1	TRANSFORMADORES	23
5.1.1	Redução das perdas nos enrolamentos de transformadores	27
5.1.2	Redução das perdas no núcleo de transformadores	27
5.2	CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA	28
5.2.1	Perdas ôhmicas (Efeito Joule) nos cabos condutores	29
5.3	MOTORES ELÉTRICOS	31
5.4	SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E EXAUSTÃO	40
5.5	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	42
5.6	SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO	47
5.7	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA	49
5.8	SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR	52
6	SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE	55
6.1	CONTROLE DE DEMANDA	55
6.2	INVERSORES DE FREQUÊNCIA	56
6.3	CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO	57
6.4	CHAVE COMPENSADORA	58
6.5	SOFT-STARTER	59
7	SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA	61
7.1	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DE PORTE MÉDIO	61
7.2	AUTOAVALIAÇÃO	66
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANICER | Associação Nacional da Indústria Cerâmica

ART | Anotação de Responsabilidade Técnica

CNI | Confederação Nacional da Indústria

COSUDE | Agencia Suiza para el Desarrollo y La Cooperación

CREA | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

EELA | Eficiencia Energética em Ladrilleras

INT | Instituto Nacional de Tecnologia

MCTIC | Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

ONS | Operador Nacional do Sistema

SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SFB | Serviço Florestal Brasileiro

APRESENTAÇÃO

O programa de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha (EELA) visa a contribuir no combate às mudanças climáticas através da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas indústrias cerâmicas da América Latina e melhorar a qualidade de vida da população envolvida. Este programa é financiado pela Agência Suíça de Cooperação Internacional (COSUDE) e executado pela Swisscontact junto aos seus parceiros em sete países: Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, México e Peru.

No Brasil, a coordenação do programa está a cargo do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), e conta com a parceria de diversos agentes, dentre os quais: Sebrae, Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA) e Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae).

O presente Manual de Uso Eficiente da Eletricidade na Indústria de Cerâmica Vermelha faz parte de um conjunto de ações e instrumentos que buscam prover as empresas do setor com informações para uma produção mais eficiente do ponto de vista do insumo elétrico, assim como mais limpa e sustentável, considerando que no Brasil a participação da geração elétrica de origem térmica vem se dando de forma crescente, tendo atingido participações significativas no total gerado no país em anos mais recentes.

Ao mesmo tempo, apesar de sua participação energética menor nas indústrias de cerâmica vermelha em relação ao consumo de energia térmica, em geral, lenha e outras biomassas, a energia elétrica é empregada em todas as fases do processo de produção cerâmica. Por isso, costuma apresentar valores absolutos de custo não muito distantes da energia térmica demandada, justificando o empenho das empresas em reduzir o seu consumo, o que representa uma mudança de postura do

setor, que, tradicionalmente, relegava o insumo elétrico a uma condição de menor importância, dado o baixo nível de difusão de técnicas sobre o uso da eletricidade nas suas instalações. Em paralelo, o empenho na redução dos custos elétricos irá promover um maior grau de competitividade nas unidades industriais do setor.

Este manual objetiva repassar ao setor de cerâmica vermelha fundamentos sobre o uso eficiente da energia elétrica em suas instalações, apresentando possibilidades de redução de custo do insumo elétrico empregado no processo e outros setores da empresa a partir da aplicação de medidas de eliminação de desperdícios, assim como de melhoria da eficiência elétrica dos equipamentos. As medidas e sugestões apresentadas buscam a redução do consumo (kWh) e da demanda (kW) de eletricidade, tanto através da correta administração das contas de fornecimento da concessionária de distribuição, como em seu uso nos equipamentos elétricos das diversas fases do processo de produção, desde os transformadores até os motores nas fases de preparo de massa, extrusão, ventilação, exaustão etc., incluindo o sistema de distribuição e de proteção elétrica.

Em anexo, são apresentados os dados de operação de um sistema elétrico de uma indústria de cerâmica vermelha de porte médio e, em seguida, uma rotina de cálculo em planilha Excel para simulação em cada empresa dos dados reais de custo absoluto e relativo da eletricidade consumida na empresa, assim como do desempenho técnico de sua instalação elétrica.

1| NOÇÕES BÁSICAS DE ELETRICIDADE

A eletricidade está presente na vida de todos, no cotidiano, em praticamente tudo. O estudo dessa parte da física é muito importante, pois ajuda a compreender os inúmeros fenômenos que estão ligados ao dia-a-dia. A todo o momento o ser humano se relaciona com fatos da natureza e o seu modo de viver depende da eletricidade e dos equipamentos consumidores de energia elétrica.

1.1. | ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é uma forma de energia que possui uma característica fundamental de fácil transporte, que a tornou imprescindível no mundo de hoje. A energia elétrica passa por três etapas distintas de transporte, até chegar ao seu local de consumo:

a) Geração: A energia elétrica é produzida a partir da energia mecânica de rotação de um eixo de uma turbina que movimenta um gerador. Esta rotação é causada por diferentes fontes primárias, como por exemplo, a força da água que cai (hidráulica), a força do vento (eólica), a força das ondas ou marés, a força do vapor (térmica) que pode ter origem do calor do planeta (geotérmica) ou pela queima de carvão, óleo combustível, lenha ou, ainda, na fissão do urânio (nuclear). Outra forma de geração é pela captação da luz do sol (solar) em placas fotovoltaicas que transformam a luz em energia elétrica por um processo químico.

b) Transmissão: As usinas geradoras quase nunca se situam próximas aos centros consumidores de energia elétrica. Por isso, é preciso transportar a energia elétrica produzida nas usinas até os locais de consumo. Para viabilizar o transporte de energia elétrica, são construídas torres e instalados cabos de transmissão (Linhas de Transmissão). Além disso, para minimizar as perdas de energia que ocorrem devido a resistência dos cabos e seus comprimentos, são construídas subestações

elevadoras de tensão logo após a geração. As tensões encontradas no sistema interligado nacional – SIN são:

Transmissão: 750; 500; 230; 138 kV

Subtransmissão: 69; 34,5; 13,8 kV

c) Distribuição: Nas cidades são construídas as subestações abaixadoras de tensão. Sua função é baixar a tensão do nível de Transmissão (muito alto), para o nível de Distribuição.

A Rede de Distribuição recebe a energia elétrica em um nível de tensão adequado para cada consumidor:

Distribuição primária em redes públicas: 34,5 e 13,8 kV

Distribuição secundária em redes públicas: 380/220 e 220/127 volts, em redes trifásicas, 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas;

As etapas de geração, transmissão, distribuição e da utilização da energia elétrica, podem ser assim representadas:

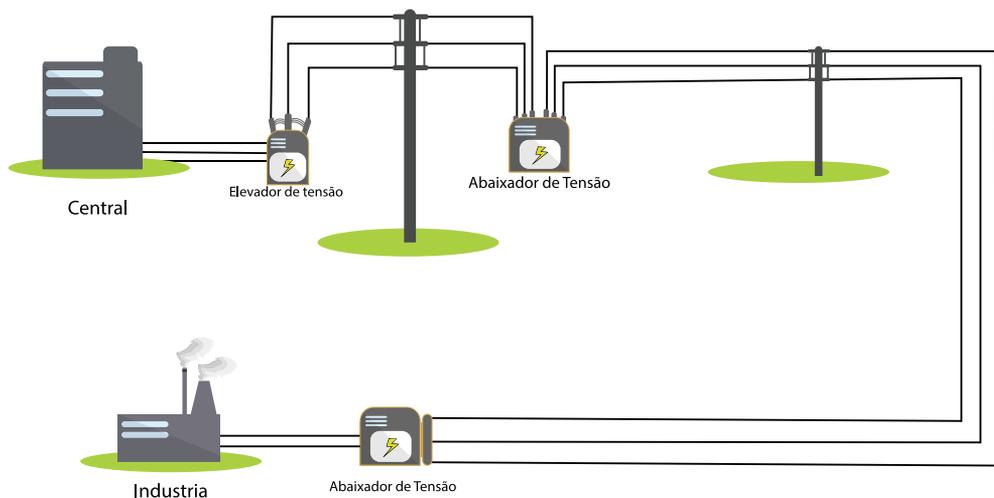


Figura 1. Etapas de geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica

Fonte: Elaboração própria

1.2 | GRANDEZAS ELÉTRICAS

Tensão (V): quando usamos um condutor de eletricidade, os elétrons existentes estão em constante movimento desordenado. Para que eles se movimentem de forma ordenada nesses condutores, é necessário ter uma força que os empurre numa certa direção. Esta força é chamada de tensão elétrica e sua unidade de medida é o Volt (V).

Corrente (I): o movimento ordenado de elétrons, provocado pela tensão elétrica, forma uma corrente elétrica que pode ter sua intensidade medida em Ampères (A). A corrente elétrica pode apresentar duas formas: contínua e alternada. A corrente contínua (CC) é aquela que mantém sempre a mesma polaridade, com uma forma de onda constante, sem oscilações, como é o caso da energia fornecida por pilhas e baterias. É importante observar que, neste caso, existe o polo negativo e o positivo. Já a alternada, a polaridade se inverte um certo número de vezes por segundo (frequência, medida em Hertz - Hz).

Resistência (R): é o atrito gerado pelos elétrons com as moléculas do material do condutor. Ela é medida em ohms (Ω).

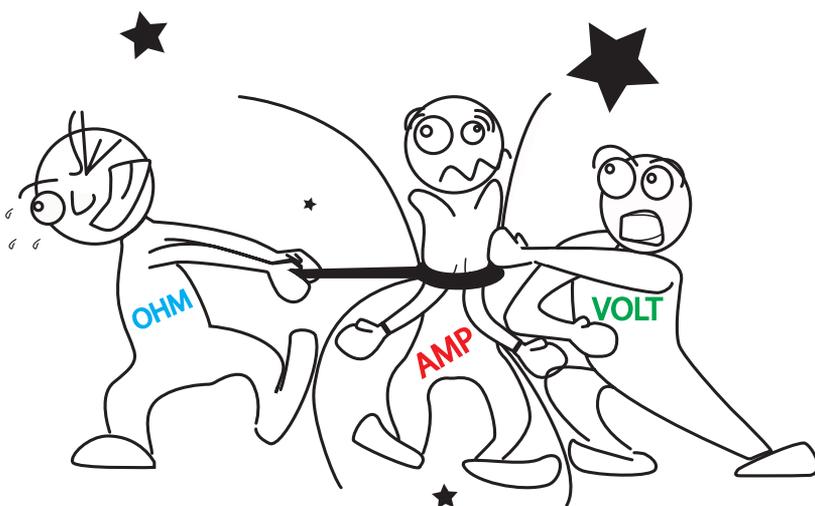


Figura 2. Grandezas Elétricas

Fonte: Elaboração Própria

2 | IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

O uso correto dos equipamentos elétricos numa instalação industrial pode levar a valores consideráveis em economia de energia elétrica, assim como de outros recursos, como de mão de obra e matéria prima, admitindo o cumprimento adequado das recomendações para sua operação e das normas de projeto dos equipamentos, incluindo-se o adequado dimensionamento, além da prática de uma manutenção periódica e eficiente.

Para o estabelecimento de um programa de uso eficiente de energia elétrica, devem ser seguidos os seguintes pontos básicos:

- Criar uma comissão de funcionários com representantes dos vários setores, de modo a elaborar metas conjuntas e estabelecer compromissos e responsabilidades em cada setor da empresa;
- Capacitar, dentro do possível, a equipe da comissão através de um curso geral de conscientização e nivelamento técnico;
- Juntar as contas de fornecimento de eletricidade referentes aos doze últimos meses e analisar aumentos de consumo e excedentes de cobrança existentes;
- Identificar os setores, etapas de processo e equipamentos elétricos de maior participação no consumo e na demanda elétrica (planilha Excel em anexo); Conhecer em detalhes os dados técnicos dos principais equipamentos, de modo a operarem dentro das características previstas em projeto;
- Fazer o mesmo quanto às ações de manutenção (limpeza, manutenção preventiva e manutenção preditiva);

Preventiva: manutenção na qual a intervenção é programada em períodos (semanal, quinzenal, mensal, anual ou troca do equipamento antes do final de sua vida útil, etc.), a ideia é identificar a falha antes que ela ocorra.

Preditiva: Consiste no acompanhamento periódico de equipamentos ou máquinas, através de dados coletados por meio de monitoração ou inspeções. Sua finalidade é prever falhas e detectar mudanças no estado físico que exijam serviços de manutenção, com a antecedência necessária para evitar quebras ou estragos maiores.

Os principais objetivos da manutenção preditiva são reduzir os impactos dos procedimentos preventivos no resultado da operação, eliminar desmontagens e remontagens para inspeção, impedir propagação dos danos e maximizar a vida útil total dos componentes de um equipamento.

As técnicas mais comuns utilizadas para manutenção preditiva podem ser: análise de vibração, ultrassom, inspeção visual e outras técnicas de análise não destrutivas.

- Estudar as medidas mais viáveis para redução do consumo e da demanda elétrica e divulgá-las, buscando conscientizar os operadores de máquinas;
- Criar uma campanha educativa na empresa, envolvendo as metas de economia de eletricidade, mas incluindo, dentro do possível, o compromisso com o bom gerenciamento de outras questões direta ou indiretamente ligadas, como: uso de outros insumos energéticos, manutenção, limpeza e segurança;
- Estimular a participação do quadro funcional através de medidas de economia de energia sugeridas pelos funcionários;

- Dar prioridade para a aplicação das medidas de baixo custo e de possibilidade de aplicação imediata;
- Criar índices de desempenho energético que possam retratar bem a evolução do desempenho energético da instalação;
- Acompanhar mês e mês o andamento da aplicação das medidas, de modo a divulgar os resultados obtidos, estimulando a participação dos funcionários, incluindo-se a premiação dos mesmos pelo alcance de metas ou pelas contribuições de mais destaque;

3 | ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O conhecimento e acompanhamento da evolução dos dados das contas mensais de fornecimento de energia elétrica objetiva conhecer em detalhes os custos mensais com eletricidade, verificando sua evolução no tempo, permitindo identificar as ações a serem adotadas para minimizar o custo mensal com o insumo elétrico. Desse modo, é importante que as contas sejam analisadas não só pelos seus custos, mas também por seus parâmetros técnicos, o que irá exigir a participação de pessoal especializado da empresa, que poderá contar com o apoio das informações técnicas contidas neste manual.

3.1 | ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DE CONSUMO E DE CUSTO COM ELETRICIDADE

Para um adequado gerenciamento do consumo de eletricidade da empresa ao longo do tempo, é importante o estabelecimento de um índice que indique a quantidade de eletricidade necessária para a produção de uma unidade representativa da produção da empresa. Não se aconselha a adoção da unidade kWh/milheiro, pela imprecisão da massa envolvida. Sugere-se o emprego do índice kWh/t pelo maior rigor técnico e pela possibilidade comparativa com outras condições de produção (outros produtos) ou outras empresas. Quanto ao custo do insumo elétrico, sugere-se a criação dos

índices R\$/milheiro produzido, que permite uma relação direta com o faturamento da empresa, e R\$/tonelada produzida, que permite maior rigor técnico.

3.2 | MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE

O acompanhamento do consumo de eletricidade da empresa não deve se restringir apenas aos dados da conta mensal. Pode-se antecipar tendências através de leituras semanais ou diárias no medidor da concessionária, o que permite a associação dos dados de consumo mais recentes com os procedimentos de operação correspondentes, permitindo acelerar o processo de análise, tomada de decisão e aplicação de medidas. Outra forma ainda mais aprofundada de análise seria através da realização de medidas de parâmetros elétricos em pontos de destaque, como circuitos principais e máquinas de maior potência elétrica ou de tempo diário de operação mais prolongado.

4 | CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA TARIFÁRIO E INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Simplificadamente, a necessidade de se ter um sistema tarifário é de obter certo controle sobre o consumo de energia elétrica e ter uma base para o planejamento da demanda de energia elétrica do País. O consumo é controlado pelos valores das diversas tarifas aplicadas, as quais variam conforme a lei da oferta e procura. Já a demanda pode ser planejada de acordo com os contratos de fornecimento exigidos para grandes consumidores.

Assim, espera-se que os preços das tarifas de energia sejam suficientes para arcar com os custos de operação, manutenção e expansão de todos os elementos elétricos que compõem o sistema, desde a usina geradora até o ramal de ligação dos consumidores, incluindo os encargos.

A seguir são detalhados alguns tópicos necessários para um bom entendimento do sistema tarifário brasileiro.

4.1 | NÍVEIS DE TENSÃO

No Brasil, as unidades consumidoras de energia elétrica são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que apresenta uma tarifa binômica (cobrança por consumo (kWh) e demanda (kW)) e Grupo B, que apresenta a tarifa monômica (cobrança apenas por consumo (kWh)).

A definição do agrupamento é função do nível de tensão da rede local de alimentação. Com alimentação abaixo de 2.300 V, a empresa é classificada no Grupo B. Caso contrário, no Grupo A, situação da maioria das indústrias de cerâmica vermelha.

O Grupo A é subdividido de acordo com os subníveis de tensão, o que tem relação com a carga instalada em cada empresa.

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

No caso das empresas de cerâmica vermelha, o subnível mais presente é o A4 (entre 2.300 e 25.000 V) e a capacidade da subestação da instalação, em geral, se encontra na faixa de 75 a 500 kVA, dependendo da carga elétrica instalada.

4.2 | ESTRUTURA TARIFÁRIA

A estrutura tarifária de fornecimento de eletricidade para as empresa enquadradas no Grupo A, caso das indústrias de cerâmica vermelha, apresenta duas modalidades de fornecimento:

- Estrutura tarifária horária Verde;
- Estrutura tarifária horária Azul;

Na estrutura horária, consideram-se dois períodos diários distintos de operação da instalação: horário de ponta – três horas consecutivas entre o período de 17 à 22h, exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico; e horário fora de ponta – período complementar das outras 21 horas do dia.

Obs: As empresas antes enquadradas na terceira modalidade que havia (Estrutura tarifária convencional), a partir de 2015 passaram a ter de escolher uma das duas opções mantidas (Verde ou Azul). No caso das empresas de cerâmica vermelha que necessitam funcionar no horário de ponta, a estrutura mais adequada é a modalidade Azul. Já as empresas que conseguem o desligamento no horário de ponta, seja por fim do horário de trabalho ou por acionamento de geradores nesse horário, a estrutura mais adequada é a modalidade Verde. Vale ressaltar que a modalidade verde tem preços elevados para o horário de ponta, logo ao contratar essa modalidade, deve-se instituir na empresa um controle para que o consumo no horário de ponta seja o menor possível.

4.2.1 | Estrutura Tarifária Horária Verde

Somente possível para unidades consumidoras do Grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS, a modalidade Horária Verde é a mais aplicada nas indústrias de cerâmica vermelha devido a pausa na produção no horário de ponta. Ela exige um contrato específico com a concessionária, no qual se determina a demanda pretendida pelo consumidor (demanda contratada), que é igual para o período de ponta e fora de ponta. A fatura de energia elétrica é composta pela soma de quatro parcelas: consumo de ponta, consumo fora de ponta, demanda e ultrapassagem de demanda. Além desses componentes, pode surgir mais um, referente ao fator de potência, que pode ser entendido como uma multa por não estar dentro da faixa exigida em legislação. Esse ponto será tratado no item 4.2.5.

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a tarifa de demanda (R\$/kW) pelo valor da demanda contratual (valor constante para qualquer hora do dia) ou pela demanda medida (a maior das duas), caso esta não ultrapasse o valor da demanda contratual em mais de 5%. Caso o valor da demanda medida ultrapasse o valor da demanda contratual em mais de 5%, a parcela excedente de demanda será aplicada uma tarifa mais elevada ao valor da parcela (tarifa de ultrapassagem).

Em resumo, o faturamento da conta de fornecimento de energia elétrica da concessionária compõe-se da soma dos seguintes componentes:

- Parcela de consumo: (tarifa de consumo na ponta x consumo medido na ponta) + (tarifa de consumo fora de ponta x consumo medido fora de ponta);
- Parcela de demanda: tarifa de demanda x demanda contratada (ou demanda medida) considera-se o maior valor;

- Parcela de ultrapassagem: tarifa de ultrapassagem x (demanda medida – demanda contratada), considerando que esta diferença seja superior a 5% da demanda contratada;

Obs. A demanda medida é o maior valor registrado no mês pelo medidor da concessionária de distribuição elétrica a partir da comparação das medições a cada intervalo de quinze minutos ao longo de todo o período mensal de medição.

4.2.2 | Estrutura Tarifária Horária Azul

Estrutura menos empregada nas indústrias de cerâmica vermelha, por sua maior complexidade e menor adequação econômica, a modalidade Horária Azul diferencia-se da Horária Verde por exigir dois valores de demanda contratual, um para o horário de ponta e outro para o horário fora de ponta, o que a torna mais difícil de ser administrada. Além disso, considerando os perfis de operação diária das plantas de produção, os custos envolvidos nas contas de fornecimento tendem a ser mais elevados, daí sua rara aplicação no setor.

A tarifa azul é compulsória para fornecimento de energia em tensão igual ou maior que 69 kV.

4.2.3 | Bandeiras tarifárias

Os valores de energia elétrica cobrados nas contas de fornecimento das concessionárias de distribuição de energia elétrica passaram a funcionar desde 2015 com o sistema de bandeiras tarifárias, com as cores verde, amarela e vermelha indicando as condições de geração elétrica (maior ou menor participação da geração termoelétrica, mais cara que a hidrelétrica), valendo para quase todo o país, com exceção dos estados fora do sistema nacional interligado (Amazonas, Roraima e Amapá). Tais valores são anunciados mensalmente pelo ONS (Operador Nacional

do Sistema). Se a bandeira for verde, a tarifa não sofre acréscimo. Se for amarela, aumenta R\$ 1,50 a cada 100 kWh e se for vermelha, apresenta dois patamares, aumentando R\$ 3,00/100 kWh no primeiro e R\$ 4,50/100 kWh no segundo.

4.2.4 | Fator de Carga

Trata-se de um índice que permite avaliar a boa utilização da energia elétrica, podendo ser calculado através da divisão do consumo mensal (kWh) pela demanda medida multiplicada pelo número de horas de operação mensal, em geral, 730 horas/mês. Seu valor pode variar de zero a um. Quanto mais próximo da unidade, mais racional será o uso da eletricidade na instalação. Um valor baixo indica a existência de concentração de consumo elétrico em curtos períodos de tempo, determinando elevados valores de demanda, ou seja, picos de demanda, ocorrência que irá elevar o custo da conta de energia elétrica da empresa, com riscos de surgimento de ultrapassagens de demanda contratual.

Por outro lado, o fator de carga depende do tipo de operação diária do processo produtivo, que na indústria de cerâmica vermelha, em geral, impõe uma operação contínua para a parte térmica do processo (fornos e secadores operando 730 h por mês) e apenas no período diário (180 a 220 h por mês) para as etapas de preparo e extrusão da massa cerâmica. Desse modo, fica estabelecida uma faixa restrita de fator de carga, em geral, de 0,20 a 0,30, destacando que quanto mais próximo, ou até acima de 0,30, melhor. A seguir, um exemplo de cálculo.

Se uma empresa apresenta um consumo mensal de eletricidade de 30.000 kWh (ponta mais fora de ponta), com uma demanda máxima de 180 kW ocorrida no mesmo mês, ela terá um fator de carga de:

$$30.000 \text{ kWh} / (730 \text{ h/mês} \times 180 \text{ kW}) = 0,228.$$

Caso a empresa apresente o mesmo consumo mensal, mas com uma demanda máxima de 140 kW, significa que o fator de carga se elevou para:

$$30.000 \text{ kWh}/(730 \text{ h/mês} \times 140 \text{ kW}) = 0,294.$$

Em resumo, o fator de carga mais alto indica uma menor variação da demanda em relação a um mesmo consumo, o que se reflete na redução do custo da conta mensal de fornecimento de eletricidade para a empresa.

4.2.5 | Fator de Potência

Este valor indica qual percentagem da potência elétrica total fornecida pela concessionária (kVA) é efetivamente utilizada na forma de potência ativa (kW), o que depende do tipo dos equipamentos elétricos empregados (existência ou não de consumo indutivo ou capacitivo). Valores próximos de 1,0 indicam um uso eficiente da energia elétrica, considerando quase inexistente a demanda de potência reativa (kVAr), indicando a predominância de equipamentos resistivos, com alto valor de FP (fator de potência) em sua especificação. O valor mínimo exigido pela legislação é de 0,92. Equipamentos elétricos, como motores, além de consumirem energia ativa (kVA), solicitam também uma parcela reativa (kVAr), ainda que menor, destinada à criação do campo magnético, através de bobinas, necessário ao seu funcionamento. Com a relação desses dois valores (kVA e kVAr), determina-se o fator de potência. A potência ativa medida em kW é a que realiza trabalho, gerando luz, calor, movimento etc. A potência reativa medida em kVAr é necessária para criar e manter o campo eletromagnético necessário para o funcionamento das cargas indutivas (que possuem bobinas) ou o armazenamento capacitivo, caso de equipamentos que operam com capacitores.

Caso a empresa apresente desajustes do fator de potência (valores abaixo de 0,92), torna-se necessária uma análise do modo de operação das cargas,

considerando que baixos valores de FP costumam ser derivados de: motores superdimensionados operando com carregamento inferior ao nominal ou em vazio; transformadores com pequenas cargas ou operando em vazio; nível de tensão acima da nominal; reatores de lâmpadas de descarga com FP baixo; grande quantidade de motores de pequena potência; banco de capacitores com capacidade insuficiente, dentre outras medidas. Em termos gerais, recomenda-se que a solução seja estudada por um técnico especializado.

A correção do FP através da instalação de um banco de capacitores, ou de seu redimensionamento, visa fornecer a energia reativa necessária para reduzir a demanda de potência aparente (kVA) da concessionária. No caso de instalação de um banco de capacitores, existem três opções gerais para a escolha do local adequado na instalação:

- Junto a uma carga específica: a circulação da energia reativa fica restrita a um equipamento, passando o capacitor a fornecer a quantidade necessária ao seu funcionamento, interferindo menos no nível de tensão da instalação, reduzindo a carga nos circuitos de alimentação e diminuindo as perdas por aumento de corrente na instalação;
- Junto a um determinado quadro de distribuição: busca corrigir o FP de um grupo de cargas ligadas a este quadro elétrico, fazendo uma correção conjunta, evitando a compra e instalação de vários equipamentos de correção individual.
- Junto à subestação (transformadores): correção do FP de todo o conjunto de cargas elétricas da instalação, tornando a supervisão e a manutenção mais práticas e melhorando o nível de tensão geral, porém, nesse caso, a rede de distribuição interna não ficará livre do transporte de reativos.

Ao corrigir-se o fator de potência indutivo com a instalação de capacitores, torna-se necessário sincronizar o funcionamento do banco de capacitores com a forma de operação da instalação elétrica (horários de maior ou menor operação das cargas). Por exemplo, quando a carga elétrica demandada se reduz após o final do expediente na produção, ao final da tarde, se não houver uma modulação na operação do banco de capacitores, haverá uma geração de energia reativa capacitiva, o que irá punir a empresa ao final do mês com um fator de potência menor que 0,92, através de uma multa cobrada por excedente reativo.

Caso exemplo: para se alimentar uma carga de 140 kW com fator de potência de 0,80 seria necessária uma potência aparente de 175 kVA. Para a mesma carga, mas com um fator de potência no valor mínimo exigido de 0,92, será necessária uma potência aparente de 152 kVA. Com isso, verifica-se que um baixo valor do FP reduz a capacidade de uma instalação elétrica, considerando que a potência reativa não realiza trabalho.

5 | EFICIÊNCIA NO USO DA ENERGIA ELÉTRICA

Ao usar a energia de maneira eficiente, paga-se menos na conta. Este já é, com certeza, um ótimo motivo. Além disso, estará ajudando a preservar as fontes de energia e conseqüentemente o meio ambiente.

É importante lembrar que a energia elétrica serve para melhorar a qualidade de vida, trazendo conforto e comodidade. Logo, deve ser aproveitada ao máximo sem desperdícios.

Eficiência energética não significa fazer racionamento, como passar calor para não ligar o ar-condicionado. O segredo está no uso de equipamentos elétricos adequados e eficientes, sem desperdício, para que o consumo de energia elétrica seja exatamente o necessário para realização do trabalho.

Não ligar o ar condicionado no exemplo acima comentado seria uma medida eficaz para a economia de energia, porém não eficiente, visto privar o usuário ou o processo da razão de ser do equipamento.

Em contrapartida, é importante utilizar um condicionador de ar adequadamente dimensionado para o ambiente, em boas condições de conservação e manutenção, controlar a temperatura em busca de conforto ao invés de utilizar temperaturas muito baixas, evitar evasão de ar do ambiente, desligá-lo sempre que o ambiente não for ocupado, dentre outros. Tais práticas são realizadas quando o usuário busca maior eficiência energética e não quando o mesmo pratica racionamento de energia.

A seguir são apresentadas as condições de eficiência para equipamentos utilizados pelo setor cerâmico.

5.1 | TRANSFORMADORES

O transformador é um equipamento que se destina a transferir de um circuito elétrico para outro a energia elétrica em corrente alternada, sem alterar o valor da frequência, mas, alterando, em geral, os valores de corrente e tensão. Nas indústrias de cerâmica vermelha, trataremos dos transformadores abaixadores, aqueles que reduzem a tensão. Por exemplo, a empresa recebe da concessionária de distribuição elétrica sua energia elétrica em uma tensão de entrada de 13.800 V e apresenta em sua saída (entrada do circuito da fábrica) uma tensão , por exemplo, de 220 V. Logo, o transformador reduziu a tensão de 13.800 V para 220 V.



Figura 4. Transformador

Fonte: Elaboração própria

A maioria das indústrias de cerâmica vermelha conta com seu(s) transformador(es) próprio(s) para a redução da tensão. Segundo a legislação que rege a atuação das concessionárias de distribuição elétrica, somente as empresas com carga elétrica instalada abaixo de 75kW (instalações de pequeno porte) podem receber diretamente a energia elétrica em baixa tensão (por exemplo, 220 ou 380 V), adequada a suas máquinas. Indústrias com carga instalada acima de 75kW recebem energia elétrica em tensões a partir de 6.300V e, para tanto, devem contar com transformadores próprios para o rebaixamento da tensão de alimentação.

Para que a operação do transformador ocorra de maneira econômica, algumas recomendações devem ser seguidas:

- Programar a operação das cargas de forma que o(s) transformador(es) sejam utilizados próximos do limite ideal (85%) de suas capacidades nominais. Deve-se evitar sobrecarregá-los, assim como operá-los em baixa carga. Sempre que possível, desligar os equipamentos que operem em vazio, sem carga;
- Manter limpas as superfícies de dissipação de calor e procurar instalar

os transformadores em locais protegidos e ventilados;

- Evitar a instalação de novos equipamentos consumidores sem antes verificar a capacidade de atendimento dos transformadores;
- Caso a subestação da empresa conte com mais de um transformador, tentar operá-los da forma mais independente possível, possibilitando o desligamento noturno daquele que atende às cargas de operação apenas diurna.

Como toda máquina elétrica, um transformador também apresenta perdas elétricas, ainda que, em geral, pequenas em relação à sua potência nominal. As perdas podem ser no núcleo magnético (perdas no ferro) ou no enrolamento (perdas no cobre).

Perdas no núcleo ou no ferro - estas perdas no núcleo ocorrem a partir do momento em que o transformador esteja ligado à rede elétrica e são devidas às características magnéticas dos materiais empregados na fabricação do núcleo. Elas se caracterizam pela pouca variação em relação à carga solicitada ao transformador e dependem, principalmente, da qualidade das chapas de ferro-silício empregadas. Transformadores mais modernos apresentam menos perdas no núcleo por empregarem ligas de ferro-silício de maior grau de pureza, o que também os torna mais caros.

Perdas nos enrolamentos ou no cobre – Os enrolamentos dos transformadores são feitos de materiais de elevada condutibilidade, o cobre e, mais raramente, o alumínio. Ao circular corrente elétrica por um condutor, ocorrem perdas, chamadas perdas ôhmicas ou perdas por efeito Joule, que se caracterizam por variar com a resistência do condutor e com o quadrado da corrente elétrica que por ele circula. Como em um transformador as resistências de seus enrolamentos são praticamente constantes, pode-se afirmar que as perdas nos enrolamentos variam com o quadrado da corrente estabelecida pela carga elétrica.

Num transformador moderno operando a plena carga (carga nominal), as perdas nos enrolamentos são em média três vezes maiores que as perdas no núcleo.

Na tabela a seguir (Normas ABNT), pode-se verificar como as perdas (kW) no ferro e no total variam a plena carga, conforme a capacidade (kVA) do transformador:

Perdas no ferro e perdas totais de energia elétrica num transformador:

Tabela 1 | Perdas nos transformadores

POTÊNCIA (kVA)	PERDAS NO FERRO (kW)	PERDAS TOTAIS (kW)
30	0,20	0,77
45	0,26	1,04
75	0,39	1,53
112,5	0,52	2,07
150	0,64	2,55
225	0,90	3,60
300	1,12	4,48
500	1,35	6,70
750	1,50	13,50

Fonte: Normas ABNT.

Caso exemplo: operando a plena carga, um transformador de 225 kVA (capacidade usual para uma indústria de cerâmica vermelha de porte médio), apresenta uma perda de 3,6 kW. Caso o referido equipamento opere na carga nominal por 200 horas/mês, período da operação diária do processo de preparo e extrusão da massa cerâmica ao longo do mês, a perda de energia elétrica seria de 3,6 kW x 200 h/mês = 720 kWh/mês, valor equivalente a 2,4% do consumo total de uma instalação elétrica do porte referido, com um custo adicional com energia elétrica de cerca de R\$ 396,00/mês. Portanto, a qualidade e o dimensionamento adequado do transformador incidem diretamente no desempenho elétrico da instalação.

5.1.1 | Redução das perdas nos enrolamentos de transformadores

As perdas nos enrolamentos, como já foi aqui citado, dependem do produto da resistência pelo quadrado da corrente estabelecida pela carga (perdas = $R \times I^2$). Como a resistência elétrica do enrolamento não varia com o carregamento do transformador, a redução das perdas pode ser obtida através de:

- Aplicação de medidas de conservação de energia nas cargas alimentadas pelo transformador para estabelecer menor solicitação de corrente (potência elétrica reduzida), trazendo com isso menores perdas nos enrolamentos do transformador;
- Elevação do fator de potência da instalação (por ex., através do uso de motores de elevado fator de potência) permite reduzir a componente indutiva da corrente, reduzindo o valor da corrente total da carga;
- Distribuição equilibrada das cargas ligadas aos transformadores, no caso da subestação da empresa contar com mais de um transformador, também permite reduzir perdas elétricas, evitando ao máximo o sub ou sobre carregamento dos transformadores.

Caso exemplo: a instalação elétrica de uma empresa alimentada por dois transformadores de 500 kVA/380 V, após sofrer um remanejamento de 20% da carga no sentido de equilibrar dentro do possível as correntes de operação, obteve uma economia de 8.400 kWh/ano, para um regime operacional de 730 h/mês.

5.1.2 | Redução das perdas no núcleo de transformadores

Quanto às perdas no núcleo do transformador, que independem do carregamento, como medida de redução do consumo elétrico, além da qualidade do equipamento adquirido e de seu adequado dimensionamento, ocorre a possibilidade de evitar-se a operação em vazio, no caso de uma subestação com mais de um transformador,

existindo casos que permitem o desligamento de um dos equipamentos no período noturno e nos finais de semana, quando a demanda elétrica numa planta de produção de cerâmica vermelha fica reduzida.

Caso exemplo: um transformador de 500 kVA ligado 24 h/dia, 30 dias/mês, ao ser desligado nos finais de semana e durante 10 h/dia, de segunda a sexta feira, irá permitir uma economia de 6.672 kWh/ano ou 556 kWh/mês.

5.2 | CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA

O sistema de distribuição de eletricidade de uma instalação industrial pode apresentar diferentes arranjos em função de diferentes demandas de confiabilidade de suprimento, regulação de tensão, flexibilidade de operação, facilidade de ampliação (futuras cargas) e limitação de investimento, considerando que algumas delas podem ser conflitantes.

Em qualquer arranjo, um sistema de distribuição é constituído de transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, fusíveis, chaves contadoras, barramentos, cabos condutores e conectores, destacando que todos esses componentes apresentam seus valores de resistência elétrica. Com a circulação de eletricidade nos mesmos, dissipa-se parte da potência elétrica na forma de calor (Efeito Joule), com essas perdas calculadas pela expressão: $P = RI^2$, sendo R a resistência elétrica do dispositivo e I a corrente elétrica que circula no mesmo.

Dessa forma, em todo sistema de distribuição elétrica há perdas que podem ser elevadas, aumentando o consumo de energia elétrica, assim como a demanda de potência elétrica. Essas perdas podem ser inerentes aos dispositivos, assim como aquelas geradas devido às resistências de contato das conexões. Muitas vezes, com o aquecimento promovido pela Lei de Ohm nos diversos componentes do circuito, pode ocorrer a necessidade de emprego de ventiladores e exaustores para a dissipação do calor, o que gera ainda mais consumo e demanda de potência elétrica.

Vale ressaltar que as perdas de energia elétrica nos circuitos de distribuição dependem, basicamente, do nível de tensão (voltagem) adotada, da bitola dos cabos e da extensão dos circuitos, o que depende da geometria do circuito em relação ao centro de cargas e da localização da subestação (transformador(es)), destacando que esta deverá estar o mais próximo possível do centro de carga da instalação.

Caso exemplo: uma instalação operando com um motor elétrico trifásico de 150 kW/380 V situado a 150 m do transformador de alimentação, ao passar a operar a apenas 10 m de distância do mesmo, irá apresentar uma economia de 19.200 kWh/ano, considerando um regime de operação de 400 h/mês.

Nas instalações de pequeno e médio porte, caso da grande maioria das instalações industriais de cerâmica vermelha, os sistemas de distribuição elétrica costumam ser do tipo radial, pela simplicidade e menor custo, com o(s) transformador(es) numa única subestação localizada na entrada de energia elétrica da rede distribuidora, exigindo longos circuitos internos de baixa tensão, elevando de forma substancial a perda de eletricidade. O ideal seria a instalação da subestação elétrica numa posição o mais equidistante possível dos principais centros de carga a serem atendidos, de modo a minimizar a queda de tensão elétrica e as perdas ôhmicas nos circuitos da instalação.

Para instalações de grande extensão física passa a ser recomendável a distribuição interna em média ou alta tensão, a partir de uma subestação de entrada, com transformadores específicos posicionados junto aos principais centros de carga.

5.2.1 | Perdas ôhmicas (Efeito Joule) nos cabos condutores

Os condutores são usualmente de cobre e por vezes de alumínio, materiais de baixa resistividade elétrica, cuja resistividade (ρ) varia com a temperatura. A resistência elétrica de um condutor varia com a expressão: $R = \rho \times (L/S)$, sendo L o comprimento do condutor e S a área da seção transversal do mesmo. Assim, quanto mais longo o circuito em que o cabo condutor está instalado, assim como quanto menor a bitola

do fio condutor, maior será a resistência elétrica total do circuito. Por outro lado, como as perdas ôhmicas dependem do quadrado da corrente do circuito ($P = 3 \times R \times I^2$), poderá ser grande a perda elétrica que ocorrerá no mesmo, ainda mais se o tempo de operação da carga for prolongado, o que destaca a importância de um bom projeto de um circuito de distribuição elétrica.

Além das perdas nos condutores, devem ser avaliadas as perdas nas conexões elétricas, tanto em seus componentes (fusíveis, chaves etc.), como em suas conexões, tanto as de fusão (soldadas), como as de pressão, ainda que, em termos gerais, esta parcela represente, em conjunto, bem menos que a dos condutores.

Fica claro que toda medida de conservação de energia elétrica acaba por ter reflexo na redução das perdas elétricas, em função de menores valores de corrente nos circuitos. Outra iniciativa que pode atenuar as perdas elétricas nos circuitos é o controle do fator de potência, através da redução das cargas indutivas, seja pelo melhor dimensionamento das principais cargas do circuito, evitando-se a operação subcarregada em exagero, seja pela iniciativa de evitar as operações de equipamentos em vazio (sem carga). Outras formas são a correção do fator de potência das maiores cargas elétricas do circuito ou, pelo menos, na subestação, através da instalação de capacitores de modo a compensar melhor as cargas indutivas presentes na operação do circuito, ou a redistribuição adequada das cargas elétricas, buscando um melhor equilíbrio das correntes nas três fases do circuito.

Nível de tensão - nos casos de reprojeto de circuitos (reforma da planta industrial, por exemplo), reforma da instalação ou de construção de uma nova fábrica, pode ser considerado o aumento da tensão (voltagem) de alguns ou todos os circuitos da instalação, de modo a reduzir a corrente em circulação, considerando a mesma potência elétrica transmitida, o que irá reduzir as perdas ôhmicas no circuito. Para tanto, deverá ser verificada a possibilidade de ligação do transformador em outras tensões de alimentação interna. Como comparação, se o nível de tensão de uma instalação passar de 220 V para 380 V, a redução das perdas no circuito será da ordem de 40%.

5.3 | MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos de indução trifásicos estão presentes em quase todas as etapas do processo produtivo de uma indústria de cerâmica vermelha, seja para movimentar uma esteira transportadora, seja para acionar a maromba ou a bomba de vácuo. Mesmo assim, é comum a pouca atenção dada pelas empresas do setor quanto ao dimensionamento dos motores, suas características e adequação técnica, assim como exigências de manutenção necessárias.

Motores de alto rendimento - Os motores elétricos permitem transformar a energia elétrica recebida em seus bornes em energia mecânica em seu eixo de saída, porém parte dessa energia é necessariamente perdida, diante de suas limitações de desempenho, traduzida por seu rendimento elétrico, o que depende da especificação de cada tipo de motor. Tal rendimento poderá variar, em geral, entre 85 e 95%, o que significa que o nível de perdas de energia elétrica deverá ser entre 5 e 15%.

Os motores de alto rendimento são construídos com materiais nobres, com destaque para seu núcleo magnético, que confere um rendimento superior ao do motor padrão. Este tipo de motor foi lançado no mercado nacional há cerca de duas décadas, já representando boa parte do mercado, porém ainda existem muitas indústrias operando com os modelos antigos (motor padrão STD), que operam com rendimento elétrico abaixo de 90%, enquanto os de alto rendimento chegam a valores próximos de 95%, o que pode representar ganhos consideráveis nas contas de fornecimento de energia elétrica, com destaque para os motores de operação diária prolongada.

Apesar do custo inicial mais elevado, os motores elétricos de alto rendimento proporcionam economia suficiente de energia elétrica para pagar de forma compensatória o investimento inicial. A partir de dezembro de 2009, os motores elétricos comercializados passaram a seguir a tabela de rendimento mínimo da linha

Alto Rendimento, conforme a Lei de Eficiência Energética - Ministério de Minas e Energia, Portaria Interministerial nº 553 de 08/12/2005.

Caso exemplo: após a queima do enrolamento de um motor padrão de 50 cv (regime de operação de 300 h/mês) com uma corrente nominal de 112 A (220 V), a empresa optou por não recondicionar o motor (R\$ 3.000,00) e sim pela troca por um modelo de alto rendimento, com um desempenho energético 3% mais econômico e ao preço de R\$ 6.500,00. O prazo de retorno do investimento deverá ser da ordem de 2 anos.

Dimensionamento do motor elétrico – uma tarefa mecânica no processo produtivo poderá ser cumprida por um motor bem dimensionado ou por outro superdimensionado. Nesse último caso, as perdas serão maiores, como no caso de um ônibus transportando uma pessoa, quando a mesma poderia ser transportada por um automóvel. Ou seja, com um motor elétrico mal dimensionado, o consumo de energia elétrica será maior. Com um motor elétrico de maior potência que a necessária, uma boa parte da eletricidade será gasta para girar a própria massa interna do motor, desperdiçando energia elétrica. Assim, é sempre recomendável que os motores sejam dimensionados o mais próximo possível da necessidade da carga que será acionada (bomba, esteira, laminador etc.), de modo que trabalhe na faixa de 75 a 95% do carregamento. Tal verificação poderá ser realizada por meio de uma medição da corrente (amperagem) e da tensão (voltagem) de acionamento do motor. Melhor ainda seria a medição através de um wattímetro, que dará o valor real da potência demandada no acionamento, permitindo comparar com a potência nominal do motor. Caso haja dificuldade de realizar esta verificação, contratar um técnico ou usar o programa computacional BDMotor, disponível de forma gratuita no site do Procel (www.procelinfo.com.br) que auxilia na identificação dos casos de superdimensionamento e no cálculo da economia de energia que pode ser obtida com o uso de um motor bem dimensionado.

A análise da curva característica de um motor elétrico (ver exemplo no gráfico seguinte), fornecida pelo fabricante, mostrando as variações do rendimento,

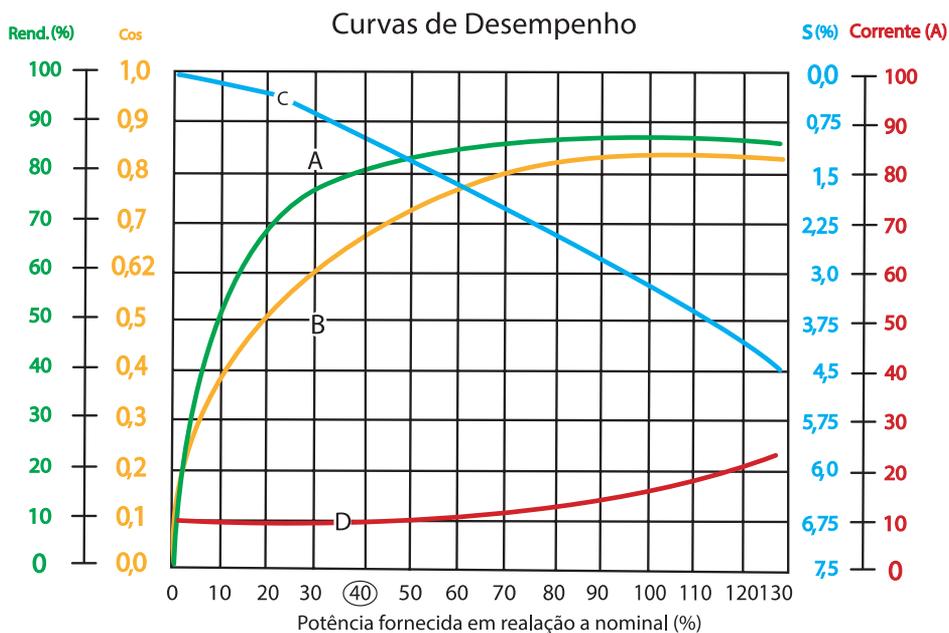
fator de potência, corrente e rpm do motor, conforme a carga solicitada, permite avaliar o dimensionamento do equipamento em operação. Quando a potência solicitada ao motor é baixa, também serão baixos os valores do rendimento e do fator de potência, o que irá provocar um consumo desnecessário de energia elétrica. Na prática, a possibilidade de ajuste da potência do motor com relação ao valor efetivo, pode ser dificultada por um regime variável de funcionamento/carregamento das máquinas. De todo modo, o que deve ser evitado é a prática do superdimensionamento, levando os motores a operar de forma ineficiente.

A determinação do potencial de economia através do redimensionamento dos motores deve ser iniciada com a medição das correntes de operação dos motores de potência mais significativa. Com esses dados, devem ser consultadas as curvas características de cada motor fornecidas pelo fabricante. Caso algum motor se encontre operando numa faixa inferior a 70% da sua potência nominal, este deverá ser substituído por outro de potência menor.

Caso exemplo 1: um laminador operando 400 h/mês com um motor de acionamento de 25 cv numa tensão de 380 V com uma corrente de operação de 15 A pode ter seu motor substituído a contento por outro de 7,5 cv, que passaria a ter um carregamento de 80%. Esta troca permitiria uma economia de 1.272 kWh/ano.

Caso exemplo 2: um desintegrador acionado por um motor de 30 cv/380 V operando com tempo morto de 50 h/mês poderia permitir, caso não operasse em vazio, uma economia de 660 kWh/ano.

O primeiro passo, para fazermos o apresentado nos exemplos é determinar se o motor está operando ou não em condições adequadas e favoráveis de funcionamento. Sendo assim, devem-se medir as correntes nas três fases e calcular a média. Em seguida, introduz-se o valor médio das correntes na curva característica do motor, que foi adquirida junto ao fabricante e está relacionada ao modelo do motor utilizado. Desta maneira, verifica-se o carregamento do motor.



Ponto III

- A - Rendimento — C - Escorregamento —
- B - Fator de potência — D - Corrente —

Figura 5. Valor médio da corrente na curva de desempenho de um motor

Fonte: Elaboração Própria

Dependendo do carregamento do motor, para cargas entre 75% e 100% da nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado, entre 50% e 75%, deve ser realizado o diagnóstico energético e abaixo de 50%, ele é considerado subdimensionado. Portanto, neste caso o motor está subdimensionado (40% potência fornecida em relação a nominal) e deve-se prosseguir com a análise. A partir do Ponto II, eleva-se uma reta vertical interceptando as curvas de fator de potência e de rendimento. O cálculo da energia consumida por esse motor é dado pela seguinte fórmula.

$$Energia = \frac{(Pot_{motor} \times Carreg \times h \times 0,736)}{\eta}$$

Figura 6. Cálculo do consumo de energia realizado pelo motor

Fonte: Elaboração própria

Onde:

Pot_{motor} = potência do motor em CV;

Carreg = carregamento atual do motor em porcentagem;

h = número de horas de funcionamento;

η = rendimento do motor para o carregamento em questão dado em porcentagem;

Energia = dada em kWh.

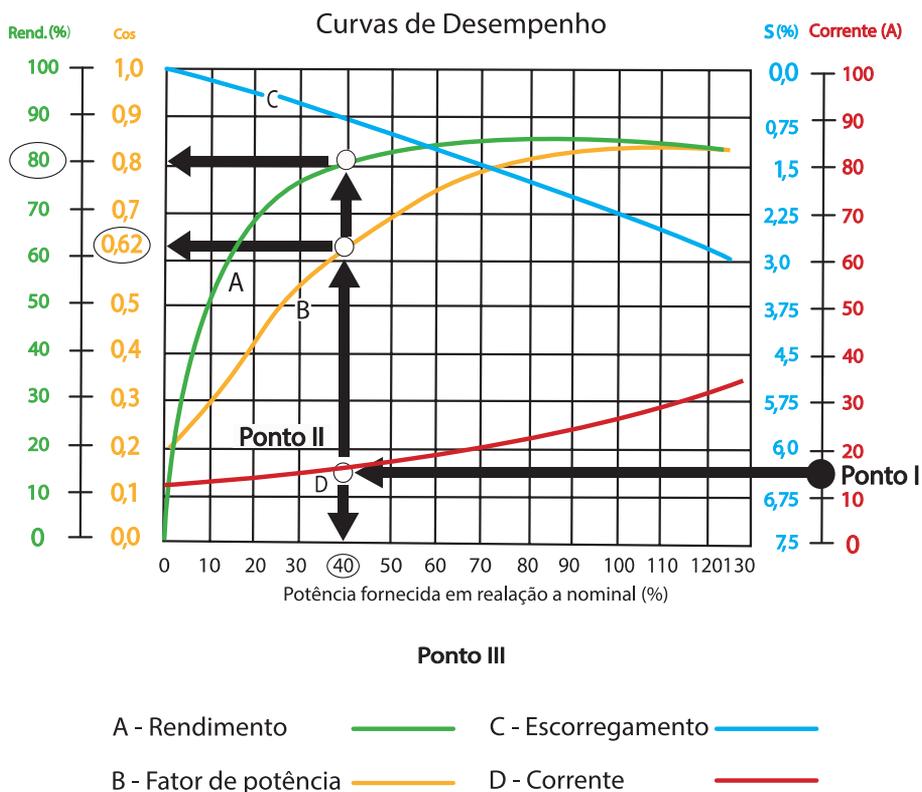


Figura 7. Fator de potência e rendimento do motor

Fonte: Elaboração própria

A escolha de um motor mais adequado pode ser feita através do cálculo da potência real solicitada pela carga, que é calculada multiplicando-se a potência nominal do motor pelo seu carregamento.

$$Pot_{real} = Pot_{motor} \times Carreg$$

Figura 8. Cálculo da potência real do motor

Fonte: Elaboração própria

Onde:

Pot_{motor} = potência do motor em CV;

Carreg = carregamento atual do motor;

Pot_{real} = potência real do motor em CV.

A partir desse valor, escolhe-se o motor imediatamente superior ao mesmo. Em seguida, calcula-se o rendimento do novo motor, dado pela relação entre a potência real e a potência deste último.

$$Carreg_{novomotor} = \frac{Pot_{real}}{Pot_{novomotor}} \times 100\%$$

Figura 9. Cálculo do carregamento do novo motor

Fonte: Elaboração própria

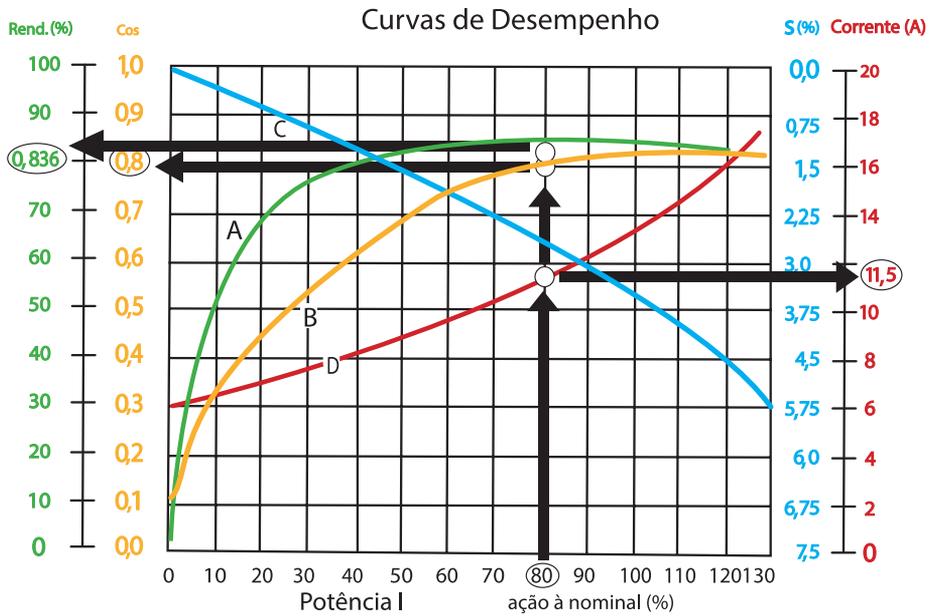
Onde:

$Pot_{novomotor}$ = potência do motor em CV;

Pot_{real} = potência real do motor em CV.

$Carreg_{novomotor}$ = carregamento atual do motor dado em porcentagem;

E utilizando a curva característica do motor novamente, a partir do carregamento do novo motor encontra-se a corrente, o rendimento e o fator de potência do mesmo.



Ponto III

- A - Rendimento — C - Escorregamento —
- B - Fator de potência — D - Corrente —

Figura 10. Características do novo motor a partir de seu carregamento

Fonte: Elaboração própria

Portanto, a energia consumida pelo novo motor pode ser calculada aplicando a primeira equação e, assim, calcula-se a economia de energia através da diferença entre o consumo dos dois motores.

$$Energia_{eco} = Energia_1 - Energia_2$$

Figura 11. Cálculo da energia economizada

Fonte: Elaboração própria

Onde:

Energia₁ = energia consumida pelo motor analisado em kWh;

Energia₂ = energia consumida pelo novo motor em kWh;

Energia_{eco} = energia economizada kWh.

E a economia financeira é dada pela expressão abaixo.

$$\textit{Economia} = \textit{Energia}_{eco} \times \textit{Tarifa}$$

Figura 12. Cálculo da economia financeira

Fonte: Elaboração própria

Onde:

Economia = o valor monetário da economia;

Tarifa = tarifa cobrada pela concessionária de energia elétrica pelo kWh;

Energia_{eco} = energia economizada kWh.

Dessa maneira, realiza-se a análise de dimensionamento e diagnóstico energético de motores de indução trifásicos. É possível analisar situações nas quais o motor sofreu um reparo, verificando a sua qualidade após a reforma, e também, a troca de um motor da linha padrão por um motor de alto rendimento.

As razões mais frequentes do superdimensionamento são:

- Desconhecimento das características da carga acionada;
- Desconhecimento de métodos para um dimensionamento mais adequado;
- Aplicação de sucessivos valores de fator de segurança nas várias etapas de projeto;
- Expectativa de aumento de carga;

- Substituição de motores danificados pela equipe de manutenção por motor em estoque, não necessariamente adequado;
- Redução da produção por retração de mercado consumidor;
- Outros.

Com uso de motores superdimensionados, algumas consequências desfavoráveis ocorrem: maior custo, volume e peso do motor; redução do fator de potência, provocando a necessidade de instalação de maiores equipamentos (banco de capacitores) para sua correção; maior corrente de partida, acarretando maior custo da instalação e proteção.

Obs. O subdimensionamento de um motor elétrico apresenta como consequência o sobreaquecimento, que provoca a redução da vida útil, com possíveis perdas de produção. Em geral, esta situação é de fácil percepção e por isso raramente ocorre.

Sistema motor-transmissão: Existem vários tipos de medidas técnicas e operacionais que podem ser tomadas visando à redução das perdas eletromecânicas relacionadas ao sistema motor-transmissão, o que irá depender da capacidade de observação, medição e análise de parâmetros de operação dos mesmos. Em geral, torna-se necessária, além da análise do tipo de motor empregado (padrão ou de alto rendimento) e de seu dimensionamento adequado, a avaliação das seguintes condições:

Operação: uso de motores blindados em ambientes com atmosfera poeirenta, o que é frequente no setor cerâmico;

Manutenção: limpeza frequente da carcaça e do ventilador, evitando superaquecimento do motor, considerando que um motor operando cerca de um grau centígrado acima de sua especificação limite, apresenta uma vida útil 50% menor; uso de peças originais de reposição; ações e métodos com rotina padrão;

Transmissão mecânica: tensão mecânica das correias – não pode estar frouxa, a ponto de estabelecer uma transmissão mecânica precária, nem muito esticada, o que pode prejudicar os rolamentos e polias; alinhamento de polias e eixos;

Cargas acionadas: manutenção constante dos rolamentos;

Controle do processo: evitar operação dos motores em vazio (sem carga); estudar a possibilidade de usar controlador de demanda no motor de acionamento da maromba; acompanhar o desgaste das boquilhas na saída da maromba, de modo a evitar uma variação geométrica exagerada na peça, procurando empregar boquilhas de material duro (cerâmica dura), que apresentam menor desgaste e com isso, menor deformação das peças e menor tempo anual de parada do processo para troca das mesmas.

Controle de partida: utilizar dispositivos de partida adequados aos motores e à sua forma de operação, buscando abrandar a ocorrência de picos de corrente de partida que interferem nas ocorrências de demanda máxima.

Caso a empresa não disponha de funcionário capacitado para a análise requerida, sugere-se o investimento em treinamento de pessoal a ser capacitado para a tarefa.

5.4 | SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E EXAUSTÃO

Numa indústria de produção de cerâmica vermelha, os sistemas de ventilação, atuando nos secadores, e de exaustão de gases de combustão nas chaminés dos fornos apresentam considerável importância no consumo de eletricidade, considerando que operam em regime contínuo (730 h/mês), representando pontos que merecem especial atenção na busca de soluções para a redução do consumo de eletricidade na empresa.

Numa planta de produção de cerâmica vermelha de capacidade média, o sistema de ventilação dos secadores pode apresentar uma participação de 10% no consumo de energia elétrica da empresa, enquanto o de exaustão dos gases dos fornos pode representar até 30%, o que permite concluir que se trata de pontos de particular importância na busca por medidas de conservação de energia nesta categoria de indústria.

No sistema de ventilação do secador, é importante uma boa manutenção, realizada de maneira constante, de modo a manter o sistema em perfeitas condições operacionais, evitando a sujeira e o excesso de atrito nas partes rotativas. Deve-se limpar e lubrificar com frequência os mancais e rolamentos, visando minimizar o atrito, reduzir o ruído e evitar perdas de energia. Também as pás dos ventiladores devem ser limpas com constância, assim como suas grades de proteção, evitando acúmulo de poeira, que dificulta a passagem do ar.

Caso exemplo: uma boa oportunidade de redução do consumo de eletricidade em secadores contínuos pode ser o emprego de inversores de frequência no acionamento dos ventiladores. Ao invés de controlar o processo de secagem através de “dampers” no controle da passagem de ar quente no secador, em função de mudanças internas (umidade da peça a ser secada, velocidade de produção, tipo de produto etc.) e externas (umidade e temperatura do ar ambiente), é possível controlar a velocidade de rotação dos ventiladores com o uso de inversores de frequência, que modificam a forma da onda da tensão e da corrente de entrada dos motores, permitindo com isso o controle da velocidade de rotação dos mesmos. Em cargas como ventiladores, a redução da potência elétrica é proporcional ao cubo da velocidade de rotação. Assim, quando se reduz a rpm do ventilador de 100% da velocidade nominal para 90%, a potência requerida pelo mesmo cairá para 0,93 (72,9%), caracterizando uma redução de consumo de eletricidade de 27,1%. Este tipo de investimento apresenta, em geral, boas condições econômicas de remuneração.

Quanto ao sistema de exaustão forçada dos gases de combustão dos fornos, pode-se pensar na possibilidade de substituição por sistema de tiragem natural, o que depende da instalação de chaminés de alvenaria de considerável altura e diâmetro interno. Para as instalações antigas, que mantiveram suas antigas chaminés ou para os novos projetos de instalações industriais, pode ser uma solução viável substituir a tiragem forçada. Mesmo diante da necessidade de construção de uma chaminé para tiragem natural, poderá ser viável a desativação dos sistemas de tiragem forçada, considerando que numa cerâmica de porte médio o custo da eletricidade demandada pelo sistema de exaustão poderá ser da ordem de R\$ 90 mil por ano, diante do custo de uma chaminé com tiragem natural, que poderá custar cerca de R\$ 200 mil. Diante desses números, parece viável estudar a questão, caso a caso, sob pena de não tentar usufruir de um potencial considerável de redução do consumo de energia elétrica na empresa.

Mesmo no sistema de tiragem forçada, considerando se tratar de uma máquina centrífuga de carga ligeiramente variável, diante das possibilidades de mudança de regime na tiragem do forno conforme a fase do processo de queima, considera-se possível, da mesma forma como foi abordado para os secadores, o investimento em inversor de frequência no controle da operação do motor elétrico de acionamento do exaustor da tiragem do forno.

5.5 | SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação de uma indústria de cerâmica vermelha apresenta em geral um consumo de energia elétrica muito pequeno, na faixa usual de 1 a 3% do total, somando-se as parcelas empregadas na área produtiva, administração, oficina e iluminação noturna de segurança. Por outro lado, com os avanços tecnológicos recentes ocorridos no setor de produção de lâmpadas, reatores e luminárias, torna-se sempre possível aprimorar o desempenho luminotécnico dos sistemas atualmente empregados no setor, tendo ao mesmo tempo menores custos energéticos, o que irá depender de uma análise caso a caso.

Para estudarmos um caso clássico que ocorrerá em breve em todos os galpões industriais, precisamos saber as equivalências das novas lâmpadas LED com as atuais do mercado.

EQUIVALÊNCIA DE LÂMPADAS LED COM OUTRAS EXISTENTES NO MERCADO

FLUXO LUMINOSO LED 110 lm/W

Tabela 2. Eficiência de lâmpadas de LED de 110 lm/W

TIPO DE LÂMPADA CONVENCIONAL	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	CONSUMO - LÂMPADA CONVENCIONAL (W/h)	EQUIVALÊNCIA LED (W)	ECONOMIA LED (%)	DURABILIDADE LED	MANUTENÇÃO (Lâmpadas normais)
MISTA	9	160	1555,2	30	98,24	10 X MAIS	10 X MAIS
MISTA	5	250	1350	30	97,98	10 X MAIS	10 X MAIS
MISTA	2	500	1080	30	97,47	10 X MAIS	10 X MAIS
VAPOR MERCÚRIO	3	125	405	30	93,26	4,5 X MAIS	4,5 X MAIS
VAPOR MERCÚRIO	1	250	270	30	89,89	4,5 X MAIS	4,5 X MAIS
VAPOR MERCÚRIO	1	400	432	90	81,04	4,5 X MAIS	4,5 X MAIS
VAPOR SÓDIO	2,5	100	270	30	89,89	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1,5	150	243	30	88,77	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1,5	250	405	60	86,52	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1	400	432	90	81,04	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1	1000	1080	240	79,78	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	150	162	30	83,15	8 X MAIS	8 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	250	270	60	79,78	5 X MAIS	5 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	400	432	60	87,36	5 X MAIS	5 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	1000	1080	150	87,36	8 X MAIS	8 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	2000	2160	330	86,1	8 X MAIS	8 X MAIS

Fonte: Elaboração própria

FLUXO LUMINOSO LED 130 lm/W

Tabela 3. Eficiência de lâmpadas de LED de 130 lm/W

TIPO DE LÂMPADA CONVENCIONAL	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	CONSUMO - LÂMPADA CONVENCIONAL (W/h)	EQUIVALÊNCIA LED (W)	ECONOMIA LED (%)	DURABILIDADE LED	MANUTENÇÃO (Lâmpadas normais)
MISTA	11	160	1900,8	30	98,56	10 X MAIS	10 X MAIS
MISTA	6	250	1620	30	98,31	10 X MAIS	10 X MAIS
MISTA	2,5	500	1350	30	97,98	10 X MAIS	10 X MAIS
VAPOR MERCÚRIO	1	250	270	30	89,89	4,5 X MAIS	4,5 X MAIS
VAPOR MERCÚRIO	1	400	432	60	87,36	4,5 X MAIS	4,5 X MAIS
VAPOR SÓDIO	3	100	324	30	91,57	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	2	150	324	30	91,57	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	2	250	540	60	89,89	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1	400	432	90	81,04	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR SÓDIO	1	1000	1080	210	82,31	4 X MAIS	4 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1,5	150	243	30	88,77	8 X MAIS	8 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	250	270	30	89,89	5 X MAIS	5 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	400	432	60	87,36	5 X MAIS	5 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	1000	1080	120	89,89	8 X MAIS	8 X MAIS
VAPOR METÁLICO	1	2000	2160	270	88,63	8 X MAIS	8 X MAIS

Fonte: Elaboração própria

Obs. As lâmpadas que necessitam de reator para seu acendimento tiveram a potência deste somada a potencia da lâmpada

A seguir é apresentado o caso mais clássico que deve ocorrer nas indústrias de um modo geral. Esses são dados práticos obtidos a partir dos resultados de um software luminotécnico.

Determinar a iluminação (luminárias e lâmpadas) a ser instalada a 10 metros do plano de trabalho para proporcionar um nível de iluminação médio de 500 lux. O ambiente é um galpão industrial e suas dimensões são comprimento de 50 metros e largura de 25 metros.

Opção 1 – Luminária tipo industrial de chapa pintada branca com refletor em alumínio anodizado fosco com lâmpada a vapor metálico de 250 W e reator eletromagnético.

Quantidade de luminárias	=	128
Iluminância em serviço	=	558 lux
Potência instalada (lâmpada + reator)	=	35.200 W
Densidade de potência	=	25,76 W/m ²

Opção 2 – Luminária tipo industrial LED com refletor de alumínio espelhado 30 W de eficiência 130 lm/W.

Quantidade de luminárias	=	128
Iluminância em serviço	=	523 lux
Potência Instalada (lâmpada + reator)	=	3.840 W
Densidade de potência	=	3,07 W/m ²

Considerando um uso mensal de 250 h por mês, os custos da energia consumida para as opções apresentadas são para um consumidor alimentado em baixa tensão (R\$ 0,55/ kWh):

Opção	Consumo mensal (kWh)	Custo energia mensal	Percentual
1	8.800	R\$ 4840,00	100%
2	970	R\$ 534,00	11%

Do ponto de vista energético, foi possível reduzir em 89% o consumo de energia e seu correspondente custo por meio da escolha de um conjunto ótico com tecnologia LED. Deve-se levar em consideração que o custo da tecnologia LED está menor a cada dia mas no momento, considerando o caso acima, é cerca de quatro vezes maior. Isto leva a um tempo de retorno maior e um maior investimento inicial, que será compensado com a vida útil do conjunto LED que é em média 5 vezes maior que o sistema anterior instalado.

Dentre as medidas de economia de energia elétrica que podem ser sugeridas, destacam-se:

- Utilizar, sempre que possível, a iluminação natural em galpões e demais ambientes, instalando telhas translúcidas em coberturas e telhados. Tais medidas podem, muitas vezes, dobrar o nível de iluminamento, o que pode interferir de forma positiva no desempenho e na produtividade do empregado;
- Instruir os usuários para que desliguem as lâmpadas de ambientes desocupados, salvo as que contribuem para a segurança;
- Empregar sensores de presença, temporizadores e sensores de iluminação onde for possível;
- Dividir os circuitos elétricos de iluminação de modo a possibilitar desligamentos parciais;
- Estudar a possibilidade de uso de lâmpadas mais eficientes nas áreas de galpões;
- Avaliar as áreas de escritório onde poderão ser empregadas lâmpadas de LED, que apresentam desempenho luminotécnico mais elevado; fazer o mesmo com as lâmpadas a vapor metálico nas áreas de produção e de escritório, considerando que os referidos tipos de lâmpadas apresentam melhor relação iluminação x consumo de eletricidade, com consideráveis valores de robustez e vida útil;
- Utilizar cores claras em paredes, pisos, tetos, móveis e divisórias;
- Rebaixar e reposicionar luminárias, quando possível, no sentido de garantir um fluxo luminoso mais adequado e reduzir o consumo de eletricidade, destacando que a quantidade a intensidade da iluminação é função do inverso do quadrado da distância entre a lâmpada e o ponto a ser iluminado.

Em resumo, uma iluminação industrial bem projetada melhora o ambiente de trabalho, aumenta a segurança dos funcionários, proporciona melhor produtividade, reduz custos operacionais e contribui para a preservação do meio ambiente.

5.6 | SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é utilizado na indústria de cerâmica vermelha como sistema de acionamento pneumático em alguns tipos de máquina (cortadeira de peças na saída da maromba, comandos pneumáticos diversos etc.), assim como em máquinas operatrizes nas oficinas de manutenção mecânica e elétrica da empresa. Os sistemas automatizados, em uso crescente nas indústrias, também podem demandar acionamentos do tipo pneumático em diversas fases do processo.

Um sistema de ar comprimido inclui compressores, filtros, tanques de armazenamento, rede de distribuição e desumidificadores capazes de oferecer ar comprimido de melhor qualidade, consumindo menos energia elétrica. Em alguns casos, pode-se armazenar ar comprimido em tanques em quantidade suficiente para evitar, por exemplo, a operação do compressor no horário de ponta, quando a eletricidade apresenta tarifa (R\$/kWh) bem mais elevada.

Na prática, muitas unidades de ar comprimido não recebem os devidos cuidados de manutenção e passam a representar uma fonte expressiva de desperdícios de eletricidade. Para uma indústria de cerâmica vermelha de médio porte, é comum a operação de um compressor com potência nominal de 7,5 cv (5,5 kW), que operando com potência média de 70% do valor nominal (3,9 kW) por cerca de 150 horas efetivas mensais, resultaria num consumo mensal de 585 kWh, equivalente a cerca de 2% do consumo total de eletricidade na planta de produção, com um custo de eletricidade da ordem de R\$ 400,00/mês. Apesar de representar uma parcela relativa de menor importância que outros equipamentos da fábrica, em valor absoluto justifica cuidados adequados com manutenção e operação.

As possibilidades de economia de energia elétrica num sistema de ar comprimido começam por um bom projeto técnico, adequado à demanda da instalação da indústria e passa por uma boa escolha dos equipamentos e materiais com a qualidade requerida, assim como mão de obra de bom nível de capacitação, tanto na montagem, como na operação e manutenção.

Alguns cuidados com o sistema de ar comprimido devem ser mantidos:

Qualidade do ar comprimido – a contaminação do ar comprimido por água e óleo lubrificante tende a acumular sedimentos e partículas nos orifícios de passagem, tendendo a entupi-los, provoca perdas de energia elétrica no compressor e mau funcionamento dos equipamentos pneumáticos, ocasionando interrupções que interferem na produção e, de forma indireta, também provocam perdas elétricas. Para evitar a contaminação com óleo, basta uma boa manutenção. Já a questão da água, dependendo da umidade da atmosfera reinante, pode ser necessária a instalação de um sistema de secagem do ar comprimido na saída do compressor, evitando o aparecimento de água na rede de distribuição, que deve contar com um sistema de purga de água condensada, que acaba por facilitar também a eliminação do óleo lubrificante porventura presente na rede de distribuição de ar comprimido. Rede de distribuição de ar comprimido - a rede deve operar em condições adequadas para a distribuição de ar comprimido de boa qualidade, isento de impurezas e na pressão adequada para a operação de cada equipamento pneumático, sem permitir perdas de carga (pressão) desnecessárias. O primeiro ponto para esse bom desempenho é um bom projeto geométrico da rede (“layout”) a partir de um adequado esquema isométrico que permita identificar os pontos críticos da rede, a inclinação necessária (meio a um grau) entre pontos de purga, assim como a localização dos principais equipamentos consumidores, de modo a atendê-los com a pressão de ar adequada, procurando localizar em posição mais próxima do compressor os equipamentos que operam com pressões mais elevadas assim como minimizar as ocorrências de acúmulo de impurezas (água e óleo lubrificante), identificando os pontos de retirada das mesmas, de forma automática ou manual, evitando a ocorrência de perdas elétricas na operação do compressor.

Ocorrências de vazamentos – a existência de vazamentos de ar comprimido na rede de distribuição e válvulas representa um fator de desperdício de eletricidade, tanto maior quanto mais elevada é a pressão. A seguir, são mostradas as perdas por vazamento em função do diâmetro do orifício num sistema de ar comprimido operando numa pressão de 80 psi.

Tabela 4. Perdas por vazamentos em função do diâmetro do orifício'

DIÂMETRO DO ORIFÍCIO EM POLEGADAS	PERDAS EM PÉS CÚBICOS POR MINUTO
1/16	4
1/8	16
3/16	36
1/4	64

Fonte: CNI, 1992

Um compressor de ar com potência de acionamento elétrico de 7,5 cv apresenta uma capacidade nominal de produção de 28 pés cúbicos de ar comprimido por minuto. Assim, um compressor que atende a uma rede com um vazamento de ar comprimido através de um orifício de 1/16 de polegada, operando a 80 psi, terá uma perda de 14% em sua produção, o que irá se refletir em perda semelhante de energia elétrica em seu acionamento. Portanto, é importante evitar o surgimento de vazamentos de ar comprimido na tubulação, juntas, válvulas e gaxetas e procurar manter em boas condições os manômetros ao longo da linha de ar comprimido.

Outras medidas que podem ser aplicadas: manter filtros limpos e renovados regularmente; utilizar pressão mínima de ar exigida; desativar ramais fora de uso.

5.7 | SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Ainda que participe muito pouco no consumo e na demanda de energia elétrica de uma indústria de cerâmica vermelha, no sistema de bombeamento de água da empresa podem ser aplicadas as seguintes medidas: evitar gastos desnecessários de água no processo industrial e instalações sanitárias permitindo a operação da bomba d'água por menos tempo; regular o nível do sistema automático da boia, evitando a fuga de água; vistoriar periodicamente o eixo da bomba. Nos casos de vazamento, o problema costuma ocorrer na gaxeta (junta de vedação), que deverá ser trocada.

Caso exemplo

Dados da Instalação

- Altura de Sucção (AS) (desnível entre o eixo da bomba e a lâmina d'água do reservatório inferior): 2 metros;
- Altura de Recalque (AR) (desnível entre o eixo da bomba e a lâmina d'água do reservatório superior): 7 metros;
- Comprimento da tubulação: 20,5 metros;
- Consumo solicitado pela indústria: 2.000 litros/h ou 2 m³/h.

Tabela de perda de carga em tubulações

Encontrar na primeira coluna a vazão de 2 m³/h, seguir para a direita na mesma linha até ultrapassar a linha em negrito. Com isso é possível achar o percentual de perdas na tubulação (5,4%) e o diâmetro desta (1" ou 32mm).

Tabela 5. Perdas em tubulações em função da vazão e do diâmetro

PERDAS DE CARGAS EM TUBULAÇÕES																
Valores em Porcentagem (%)																
Percentagem de perda de carga ao longo de 100 metros de tubulação nova de PVC ou tubos de ferro fundido ou galvanizado																
Vazão	PVC	F" F	PVC	F" F	PVC	F" F	PVC	F" F	PV	F" F	PV	F" F	PV	F" F	PV	F" F
m ³ /hora	3/4" (25 mm)		1" (32 mm)		1 1/4" (40 mm)		1 1/2" (50 mm)		2" (60 mm)		2 1/2" (75 mm)		3" (85 mm)		4" (110 mm)	
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1								
1	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1						
1,5	10	10,	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1						
2	16,5	17,	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1				
2,5	24,4	26,	8	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1				
3	33,6	36,	11	12,	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1		
3,5	44	48,	14,	16,	3,8	4,2	2,1	2	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1		
4	55,6	62,	18,	21	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1		
4,5	68,3	77,	22,	26,	6	6,7	3,3	3,2	1	1	0,3	0,3	0,1	0,1		
5	82,2	94	26,	31,	7,2	8,1	4	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2		
5,5	97,1		31,	37,	8,5	9,7	4,7	4,6	1,4	1,4	0,4	0,4	0,2	0,2		0,1
6			36,	44,	9,9	11,	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
6,5			42,	51,	11,	13,	6,3	6,3	1,9	2	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
7			48,	59,	12,	15,	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
7,5			54,	67,	14,	17,	8	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1
8			61,	75,	16,	19,	9	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,3	0,4	0,1	0,1
8,5			67,	84,	18,	21,	10	10,	3	3,2	0,8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1
9			75,	94	20	24,	11,	11,	3,3	3,6	0,9	1	0,4	0,5	0,1	0,1
9,5			82,		22	26,	12,	12,	3,6	4	1	1,1	0,4	0,5	0,1	0,1
10			90,		24,	29,	13,	13,	4	4,4	1,1	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2

Fonte: Elaboração própria

Determinação da Altura Manométrica

Altura manométrica (AMT) é a soma das alturas de sucção e de recalque mais as perdas nas tubulações e conexões.

$$AMT = AS + AR + PC \text{ tubos} + PC \text{ conexões}$$

$$AMT = 2 + 7 + PC \text{ tubos} + PC \text{ conexões}$$

$$PC \text{ Tubos} = CT \times Fpc\%$$

$$PC \text{ Tubos} = 20,5 \times 5,4\%$$

$$PC \text{ Tubos} = 1,1 \text{ m.c.a}$$

PC conexões = (AS+AR+PC tubos) x 5%

PC conexões = 0,06 m.c.a

AMT = 2 + 7 + 1,11 + 0,05 = 10,62 m.c.a. ≈ 11 m.c.a.

Com os dados de AMT (H) e Vazão (Q) pode-se entrar nos catálogos de fabricantes e escolher o motor ideal para esse trabalho e com o gráfico abaixo selecionar a característica da melhor bomba de fluxo. Adotando esse simples procedimento o conjunto motor bomba estará bem dimensionado e trabalhará com eficiência.

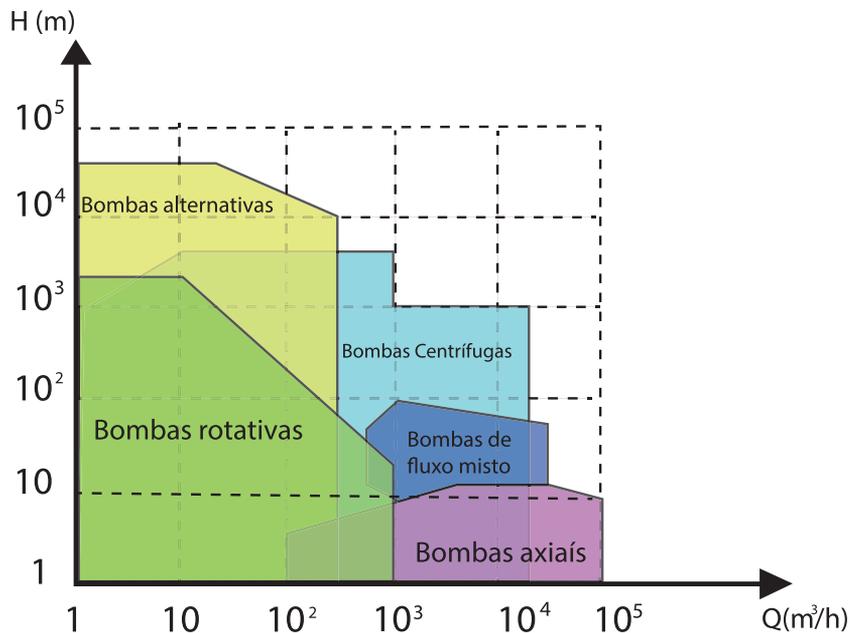


Figura 14. Eficiência de bombas de fluxo

Fonte: Elaboração própria

5.8 | SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

Da mesma forma que no caso anterior, os aparelhos de ar condicionado de uma indústria cerâmica apresentam pouca participação no consumo e na demanda elétrica. Em geral, são empregados em duas ou três salas da administração da empresa e num eventual laboratório de ensaio de material cerâmico da empresa.

Considerando três aparelhos de 12.000 BTU/h, a potência nominal instalada seria da ordem de 4 kW, com demanda efetiva da ordem de 3 kW, o que representaria cerca de 2% da demanda média efetiva da instalação.

Dentre as principais medidas de economia de energia elétrica a serem adotadas, podem ser destacadas: troca por aparelhos com compressor rotativo, caso a empresa ainda opere com aparelhos antigos; desligamento dos aparelhos sempre que o ambiente permanecer vazio nos horários de almoço ou por períodos acima de meia hora; evitar a ligação antes do início do horário de expediente de trabalho; ajustar a posição do termostato (comando de temperatura) do aparelho, para que a temperatura permaneça sempre no entorno de 24°C; evitar a insolação direta no ambiente, através do emprego de cortinas ou persianas; manter fechadas portas e janelas, evitando a ocorrência de frestas que propiciem perda de ar frio. Com a aplicação das referidas medidas, a redução na demanda e no consumo de eletricidade nos aparelhos de ar condicionado poderá ser reduzida em até 40%.

Colocar dados de dimensionamento, tipo 12.000 BTU/h para cada 20 m².

Para se calcular a quantidade de BTU`s necessários de um equipamento, para atingir as condições de conforto térmico em um ambiente, é necessário usar um método para o cálculo da carga térmica do ambiente a ser climatizado.

Vale salientar que o método de cálculo de carga térmica apresentado abaixo é simplificado, em caso de ambientes de maior complexidade é indicado solicitar um projeto aos fabricantes de equipamentos.

Primeiramente providencie uma trena e uma calculadora para levantamento de medidas e alguns cálculos sobre o ambiente.

Calcule quantos metros cúbicos (m³) tem o ambiente, anote o resultado em m³ do ambiente no valor mais próximo na tabela abaixo (repare que a tabela é para

ambiente de até 90m³). Na tabela o termo “Por Andar” significa “Entre Andares”, portanto, utilize o resultado de um dos dois campos “Por Andar” ou “Sob Telha”, anote o valor encontrado.

Calcule a área (m²) das janelas e utilize os campos da direita e anote o resultado de “Manhã” e “Tarde”. Anote também os resultados de “Pessoas” que estarão no ambiente, “Portas” (m²) e Aparelhos Elétricos”.

Então some os valores adquiridos de acordo com os campos “Condução”, “Janelas”, “Pessoas”, “Portas” e “Ap. Elétricos” (W).

O resultado é a Carga Térmica em Kcal/h. Multiplique este valor por quatro (Kcal/h x 4 = BTU/h) para encontrar sua Carga Térmica em BTU.

Tabela 6. Eficiência de aparelhos de ar-condicionado

CONDUÇÃO			JANELAS				PESSOAS			
Kcal/h			Kcal/h							
m ³	Por andar	Sob telha	m ²	Com Cortina		Sem Cortina				
				Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	N ^o	Kcal/h	
30	480	670	1	160	212	222	410	1	125	
33	530	740	2	320	424	444	820	2	250	
36	580	800	3	480	636	666	1230	3	375	
39	620	870	4	640	848	888	1640	4	500	
42	670	940	5	800	1060	1100	2060	5	625	
45	720	1000	6	960	1272	1332	2460	6	750	
48	770	1070	7	1120	1484	1554	2870	7	875	
51	816	1140	8	1280	1696	1777	3280	8	1000	
54	864	1200	9	1440	1908	1998	3960	9	1125	
57	910	1270	10	1800	2120	2220	4100	10	1250	
60	960	1340	Portas			Aparelhos Elétricos				
63	1010	1410	m ²	Kcal/h		Watts Nominal		Kcal/h		
66	1060	1470	1	125		50		45		
69	1100	1540	2	250		100		90		
72	1150	1610	3	375		150		135		
75	1200	1680	4	500		200		180		
78	1250	1740	5	625		250		225		
81	1300	1810	6	750		300		270		
84	1340	1880	7	875		350		315		
87	1390	1940	8	1000		400		360		
90	1440	2010	9	1125		450		405		
			10	1250		500		450		
(kcal/h) x 4 = 1 Btu/h			(Btu/h)/12.000 = TR (tonelada de refrigeração)							

Este método é bem simples, porém eficaz. Garante um mínimo necessário de eficiência no dimensionamento dos equipamentos, eliminando a compra dos equipamentos apenas pelo menor preço e sim pela carga térmica exigida pelo ambiente.

6 | SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE

Os modernos processos industriais de fabricação exigem sistemas de controle cada vez mais sofisticados. Em todos esses processos é absolutamente indispensável controlar ou manter constantes algumas variáveis. O objetivo é melhorar a qualidade, diminuir o desperdício de energia, aumentar a quantidade produzida e manter a segurança.

Neste capítulo teremos os seguintes tópicos apresentarão alguns sistemas de comando e controle utilizados no setor.

6.1 | CONTROLE DE DEMANDA

A implementação de um sistema de controle da demanda elétrica permite uma redução nos custos, evitando picos de demanda que ultrapassem o valor estabelecido em contrato, além de possibilitar em certos casos uma redução no valor contratual, sem prejuízo do bom funcionamento dos equipamentos do processo.

O primeiro passo para a redução das ocorrências de máxima potência solicitada através da implantação de um controlador de demanda é o estabelecimento de uma programação de cargas elétricas, ou seja, um planejamento rígido de funcionamento das máquinas elétricas da instalação industrial, procurando escalonar o seu funcionamento ao longo da jornada de trabalho e dos períodos de ponta e fora de ponta. A obtenção da curva de carga de um dia típico de operação da indústria, ou, melhor ainda, a obtenção junto à concessionária de distribuição de energia elétrica da memória de massa do medidor (registro de um mês, dia a

dia), contribui sobremaneira para uma boa programação de cargas, permitindo a identificação dos períodos do dia em que as máximas demandas ocorrem. Outro ponto importante é a identificação das cargas não fundamentais, que podem ser desligadas de forma eventual, mesmo que por curtos períodos de tempo, sem causar transtornos à produção. Também deve ser evitada a operação de alguns tipos de equipamentos, como máquinas de solda, que costumam impor elevadas correntes de pico, destacando que, neste caso, a oficina de manutenção poderá operar em horários que não coincidam com os períodos de maior demanda.

Controlar de forma automática a demanda de potência de uma indústria significa supervisionar através de um sistema automático as potências médias de quinze em quinze minutos solicitadas da rede da concessionária de fornecimento de energia elétrica, de tal forma que estas não ultrapassem um valor pré-estabelecido como ótimo. Existem no mercado diversos tipos de aparelhos controladores de demanda, desde os mais simples até os mais sofisticados, que permitem uma completa supervisão da operação do sistema elétrico da empresa, o que exige uma análise criteriosa de custos antes da escolha do aparelho mais adequado.

6.2 | INVERSORES DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência tem como principal função alterar a frequência da rede que alimenta o motor, fazendo com que o motor altere sua velocidade de rotação de acordo com as novas frequências fornecidas pelo equipamento. Desta forma podemos facilmente alterar a velocidade de rotação das máquinas de fluxo que estiverem acopladas a estes motores.

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Onde:

N_s = Velocidade Síncrona em RPM

f = Frequência em Hz

p = Número de polos

Figura 15. Cálculo da velocidade síncrona do motor

Fonte: Elaboração própria

A quantidade de energia elétrica a ser fornecida para que o conjunto motor bomba execute um recalque, não é totalmente aproveitada para elevação do líquido, tendo em vista que além do consumo do motor ainda existem as perdas na transformação de energia.

6.3 | CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO

A chave estrela-triângulo consiste em duas maneiras de se ligar um motor trifásico. O funcionamento dessa chave consiste de início, em acionar o motor em estrela, e após um tempo de aproximadamente 3 a 25 segundos (tempo suficiente para que o motor atinja 90% da rotação nominal), mudar a ligação para triângulo através de um temporizador automático.

A corrente, em estrela, fica reduzida a 33% do valor que teria na partida direta em triângulo. Este dispositivo é indicado para motores até 15CV.

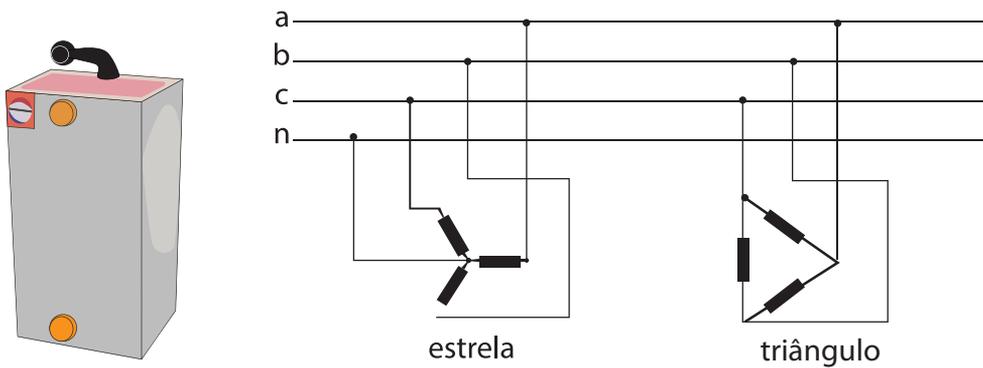


Figura 16. Ligações em sistema trifásico com chave estrela-triângulo

Fonte: Elaboração própria

Como principais vantagens, apresenta baixo custo de aquisição, corrente de partida reduzida a 1/3 da corrente nominal e maior vida útil do motor.

6.4 | CHAVE COMPENSADORA

A chave compensadora é utilizada em motores de indução trifásicos onde a chave estrela-triângulo é inadequada. A norma prevê a utilização desta chave para motores, cuja potência seja maior ou igual a 15 CV. A tensão no motor é reduzida através de um autotransformador trifásico que possui geralmente “taps” de 50%, 65 % e 80% da tensão nominal.

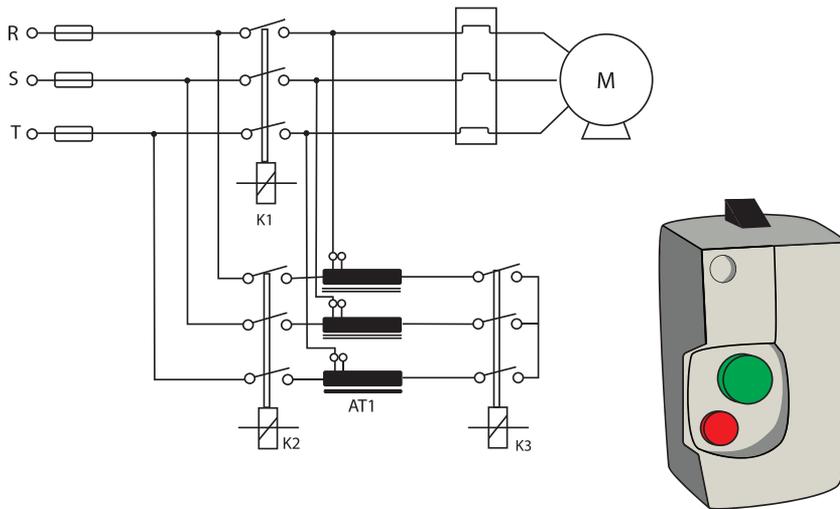


Figura 17. Ligações numa chave compensadora

Fonte: Elaboração própria

Durante a partida alimenta-se com a tensão nominal o primário do autotransformador trifásico conectado em estrela e do seu secundário é retirada a alimentação para o circuito do motor. A passagem para regime permanente faz-se desligando o autotransformador do circuito e conectando diretamente a rede de alimentação o motor trifásico. Este tipo de partida normalmente é indicado para motores de potência elevada.

A utilização da chave compensadora em relação a chave estrela-triângulo apresenta como principal vantagem, a comutação da derivação de tensão reduzida para a tensão de suprimento não acarreta elevação da corrente, já que o autotransformador trifásico comporta-se neste instante semelhante a uma reatância que impede o crescimento da mesma.

6.5 | SOFT-STARTER

As Soft-Starters são chaves de partidas estáticas microprocessadas, projetadas para acelerar/desacelerar e proteger motores de indução trifásicos.

Composta basicamente por uma ponte tiristorizada que controla a tensão no motor, pode-se por consequência ajustar o torque e corrente à necessidade da carga, ou seja, a corrente exigida será a mínima necessária para acelerar a carga, sem mudanças de frequência. A chave soft-starter inicia a transferência gradual de energia para o motor, iniciando assim, suavemente a aceleração do mesmo, reduzindo os trancos e golpes nos componentes mecânicos e sobrecarga na rede elétrica durante a partida.

Tem a vantagem de não provocar trancos no sistema, limitar a corrente de partida, evitar picos de corrente e ainda incorporar parada suave e proteções. Essas chaves contribuem para a redução dos esforços sobre acoplamentos e dispositivos de transmissão durante as partidas e para o aumento da vida útil do motor.

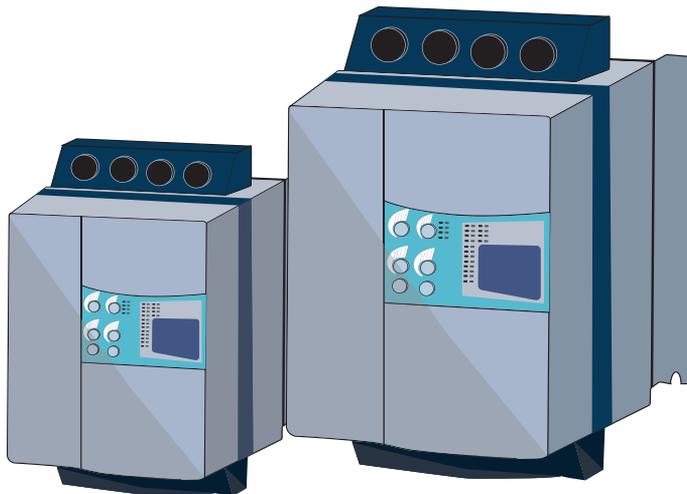


Figura 18. Chaves soft-starters

Fonte: Elaboração própria

7 | SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO ELÉTRICA DE UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

A antiga máxima do físico irlandês do século XIX, Lord Kelvin: “Não se conhece o que não se mede” pode servir de inspiração para o empresário ceramista na busca das possibilidades de melhoria do desempenho energético da instalação elétrica de sua empresa, visando em última análise, uma redução de custos operacionais. Para tanto, é preciso que se conheça em detalhes a forma de operação de seus equipamentos em cada fase do processo produtivo. Isso envolve a discriminação dos valores de potência instalada de todos os seus equipamentos elétricos, assim como suas características de operação, fatores de carga e períodos de funcionamento diário, dentre outros.

A seguir, é apresentado um exemplo de discriminação detalhada da operação elétrica de uma indústria de cerâmica vermelha de porte médio.

7.1 | CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DE PORTE MÉDIO

Produção nominal: 700 milheiros/mês (bloco de 1,5 kg por unidade) ou 1.050 t/mês.
Operação mensal: fornos e secador – 730 h/mês; preparo da massa – [8 h/dia x 22 dias/mês = 176 h/mês] + [4 h/dia x 4,35 semanas/mês = 17,4 h/mês] = 193,4 h/mês; operação corrigida, considerando paradas = 180 h/mês.

Fornos abóbada: quatro unidades com capacidade de 80 t/fornada (44,4 milheiros/fornada), num ritmo de operação de quatro fornadas/mês, gerando uma produção mensal de 1.050 t/mês ou 711 milheiros/mês; consumo nominal de lenha: 1,3 st/milheiro, desconsiderando a recuperação de calor.

Secador contínuo e tiragem forçada na exaustão dos fornos.

Lenha: considerando 280 kg/st e 3.100 kcal/kg, tem-se 868.000 kcal/st ou 0,868 Gcal/st.

Consumo específico de energia térmica do forno: $1,3 \text{ st/milheiro} = (1,3 \times 868.000) \text{ kcal}/1.500 \text{ kg/milheiro} = 752 \text{ kcal/kg}$.

Admitindo uma recuperação parcial (7%) de calor dos fornos na fase de queima ou de resfriamento, para o secador ou para os outros fornos, tem-se um consumo específico de energia térmica geral de $0,93 \times 752 \text{ kcal/kg} = 700 \text{ kcal/kg}$.

Demanda média de energia térmica (fornos + secador): $700 \text{ kcal/kg} \times 1.050.000 \text{ kg/mês} = 735 \text{ Gcal/mês}$,

Consumo médio mensal de lenha da instalação: $735 \text{ Gcal}/0,868 \text{ Gcal/st} = 846 \text{ st/mês}$ ou 26 caminhões mensais de lenha com capacidade de 33 st/caminhão (9,24 t/caminhão com dimensões do volume de carga de: 6,00 x 2,75 x 2,00 m).

Custo mensal com lenha: $\text{R\$ } 35,00/\text{st} \times 846 \text{ st/mês} = \text{R\$ } 29.610,00/\text{mês}$.

Operação nominal das máquinas de preparo de massa: $(1.050 \text{ t/mês}) / (180 \text{ h/mês}) = 5,8 \text{ t/hora}$.

Capacidade nominal das máquinas de preparo de massa: $5,8 \text{ t/hora}/0,5 = 11,6 \text{ t/h}$, considerando fator de capacidade de 50%.

Capacidade nominal das máquinas de preparo de massa para efeito de especificação: 12 t/h.

Potência nominal das máquinas de preparo de massa (total - 50 cv): Caixão alimentador – 5 cv; Misturador – 20 cv; Desintegrador – 10 cv; Laminador – 15 cv.

Potência nominal na extrusão: Maromba – 150 cv; bomba de vácuo - 10 cv;

OPERAÇÃO MECÂNICA (PREPARO DE MASSA E EXTRUSÃO)

Preparo de massa (50 cv): Consumo mensal de eletricidade - $50 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 180 \text{ h/mês} = 3.974 \text{ kWh/mês}$; Potência média máxima: $50 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,9 \text{ (FC)} = 33,1 \text{ kW}$;

Extrusora (maromba) (150 cv): Consumo mensal de eletricidade - $150 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 180 \text{ h/mês} = 11.923 \text{ kWh/mês}$; Potência média máxima: $150 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,9 \text{ (FC)} = 99,4 \text{ kW}$;

Equipamentos anexos (bomba de vácuo (10 cv) + ar comprimido (5 cv) + torre resfriamento (0,5 cv) + cortador (1,5 cv) = 17 cv): Consumo mensal de eletricidade - $17 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 180 \text{ h/mês} = 1.351 \text{ kWh/mês}$; Potência média

máxima: $17 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,7 \text{ (FC)} = 8,8 \text{ kW}$;

Consumo mensal e demanda na operação mecânica (preparo de massa + extrusora + equipamentos anexos): 17.248 kWh/mês e 141,3 kW.

OPERAÇÃO TÉRMICA (FORNOS E SECADOR)

Ventiladores do secador (10 cv): Consumo mensal de eletricidade - $10 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 730 \text{ h/mês} = 3.224 \text{ kWh/mês}$, sendo cerca de 9% no horário de ponta e 91% fora de ponta; Potência média máxima: $10 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} = 4,4 \text{ kW}$;

Exaustor da chaminé dos fornos (30 cv): Consumo mensal de eletricidade - $30 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 730 \text{ h/mês} = 9.672 \text{ kWh/mês}$, sendo cerca de 9% no horário de ponta e 91% fora de ponta; Potência média máxima: $100 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,6 \text{ (FC)} = 13,2 \text{ kW}$;

SUB-TOTAL OPERAÇÃO TÉRMICA: 12.896 kWh/mês e 17,6 kW.

OPERAÇÃO ADMINISTRATIVA

Dois aparelhos de ar condicionado de 12.000 Btu/h (3 kW) + iluminação (1,5 kW) + tomadas (1 kW) + bomba d'água (0,5 kW) = 6 kW: Consumo mensal de eletricidade - $6 \text{ kW} \times 0,6 \text{ (FC)} \times 200 \text{ h/mês} = 720 \text{ kWh/mês}$; Potência média máxima: $6 \text{ kW} \times 0,6 \text{ (FC)} = 3,6 \text{ kW}$;

OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

Oficina com máquinas ferramenta, de pintura e de soldagem, além de ar comprimido: 10 cv: Consumo mensal de eletricidade - $10 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,5 \text{ (FC)} \times 50 \text{ h/mês} = 184 \text{ kWh/mês}$; Potência média máxima: $10 \text{ cv} \times 0,736 \text{ kW/cv} \times 0,5 \text{ (FC)} = 3,7 \text{ kW}$;

TOTAL GERAL DA INSTALAÇÃO: Consumo - 31.048 kWh/mês; Demanda - 166,2 kW.

Demanda contratual: 170 kW.

Quadro geral de consumo e demanda elétrica por etapas de processo:

Tabela 7. Tabela de consumo e demanda numa instalação de cerâmica vermelha

ETAPA PROCESSO	KWH/MÊS	(%)	KW MÁXIMO	(%)
PREPARO MASSA	3.974	12,8	33,1	19,9
MAROMBA	11.923	38,4	99,4	59,9
BVAC ^(*)	1.351	4,4	8,8	5,3
VENTILADORES DO SECADOR	3.224	10,4	4,4	2,6
EXAUSTOR FORNOS	9.672	31,2	13,2	7,9
ADMINISTRAÇÃO	720	2,3	3,6	2,2
OFICINA MANUTENÇÃO	184	0,5	3,7	2,2
TOTAL	31.048	100,0	166,2	100,0

Fonte: Elaboração própria

(*) Bomba de vácuo (10 cv) + ar comprimido (5 cv) + torre de resfriamento (0,5 cv) + cortador (1,5 cv).

Custo mensal estimado com energia elétrica, considerando a ausência de problemas com FP e ultrapassagens: 31.048 kWh/mês x R\$ 0,55/kWh = R\$ 17.076,00/mês.

Relação de energia elétrica por produção: 31.048 kWh/mês / 1.050 t/mês = 29,6 kWh/t (ou 25,4 kcal/kg).

Relação de energia térmica por produção: 700,0 kcal/kg.

Relação energia térmica x energia elétrica: 700 kcal/kg / 25,4 kcal/kg = 27,6:1.

Este último valor mostra que a referida planta de produção cerâmica consome uma unidade de energia elétrica para cada 27,6 unidades de energia térmica. No entanto, em termos de custo mensal, as diferenças são bem menores, como mostra o quadro mais adiante.

Considerando que o faturamento das contas de eletricidade ocorre através de uma tarifa binômica envolvendo consumo (kWh) e demanda (kW), o quadro anterior destaca o consumo mensal de eletricidade na etapa de extrusão (maromba) e na exaustão dos fornos, que representam em conjunto quase 70% do total de eletricidade consumida na instalação da empresa. Quanto à demanda de potência elétrica, a maromba representa quase 60% da demanda elétrica total da empresa, seguida do conjunto de máquinas de preparo de massa (19,9%). Em resumo, a questão do consumo de eletricidade se concentra na maromba e na exaustão dos fornos enquanto a componente de demanda se concentra em 80% na maromba e no preparo de massa.

Além dos gastos com lenha e eletricidade, as indústrias de cerâmica vermelha costumam ter mais dois itens de gasto com insumos energéticos, um referente às máquinas operatrizes (por exemplo, pá carregadeira), que consome óleo diesel, e outro referente às empilhadeiras, em geral, operando com gás LP ou óleo diesel. Considerando a operação diária (4 h/dia) de uma pá carregadeira de 150 cv (112 kW) com fator de carga médio de 50% e consumo específico de 3,5 kWh/litro de óleo diesel, tem-se um consumo previsto de 16 litros/dia ou 1920 litros/mês, com um custo de R\$ 5.700,00/mês. Para uma empilhadeira de 50 cv (37,3 kW) a gás LP, operando 4 h/dia, fator de carga de 50% e consumo específico de 3,0 kWh/kg de gás LP, haveria um consumo de gás LP de 6,2 kg/h ou 372 kg/mês, com um custo de R\$ 1.860,00/mês.

Desse modo, a matriz de consumo energético da empresa seria a seguinte:

Tabela 8. Consumo energético da instalação

ENERGÉTICO	R\$/MÊS	(%)	% SOBRE O FATURAMENTO
Lenha	29.610,00	54,6	16,9
Eletricidade	17.076,00	31,5	9,8
Óleo diesel	5.700,00	10,5	3,3
Gás LP	1.860,00	3,4	1,1
TOTAL	54.246,00	100,0	31,0

Fonte: Elaboração própria

Considerando a produção de 700 milheiros/mês de blocos a um preço médio de venda de R\$ 250,00/milheiro, o faturamento mensal da empresa seria de R\$ 175.000,00, levando a uma participação de 31,0 % dos insumos energéticos sobre o faturamento, com uma parcela de 9,8% referente ao insumo elétrico.

7.2 | AUTOAVALIAÇÃO

- Desempenho da instalação elétrica

Para a avaliação do desempenho da instalação elétrica de sua empresa, é apresentado em anexo um CD com planilha EXCEL que permite, a partir dos dados operacionais de sua instalação, estimar seu desempenho elétrico, mostrando dados de consumo de eletricidade e demanda de potência elétrica em cada etapa do processo, permitindo identificar os pontos de maior importância a serem investigados, tanto em termos de consumo energético (kWh), como de demanda de potência elétrica (kW), assim como índices comparativos com outros insumos energéticos da empresa.

- Avaliação das Contas de Fornecimento de Energia Elétrica

Uma boa medida para obter a redução no pagamento da energia elétrica conforme já mencionado é avaliar os dados contidos na fatura mensal da concessionária, A partir daí é possível avaliar a representatividade de cada mês e a variação que ocorre em função da época do ano.

Uma análise destes dados aliada com a avaliação do regime de operação da instalação e da carga elétrica total instalada possibilita o correto estabelecimento da demanda de potência e da modalidade de contrato que apresente o menor custo final para a cerâmica.

O exemplo a seguir apresenta uma serie histórica de uma indústria cerâmica enquadrada na modalidade tarifária Verde.

MÊS/ANO	Consumo fora de ponta (KWh)	Consumo de ponta (kWh)	Demanda medida (kW)	CUSTO TOTAL (R\$)
janeiro	38.900	270	230,6	19.529,14
fevereiro	37.200	229	205	18.777,78
março	31.000	250	210	16.229,26
abril	40.152	289	215	20.069,90
maio	40.023	278	210	20.004,02
junho	39.684	305	220	19.893,74
julho	39.654	315	195	19.892,54
agosto	40.125	295	200	20.065,45
setembro	41.150	321	210	20.519,91
outubro	40.998	315	210	20.450,11
novembro	39.968	319	195	20.027,30
dezembro	39.453	326	200	19.821,52
MÉDIA	39.026	293	208	19.443,29

Com pode ser observado na tabela acima a cerâmica a empresa possui um consumo de energia médio mensal de 39.000 kWh no período fora de ponta e de 293 kWh na ponta. A demanda apresenta um valor médio de 208 kW com o maior valor registrado de 230,6 kW e com o menor valor de 195 kW.

Foram então simuladas três situações para o contrato da demanda junto a concessionária e seus respectivos impactos no custo final.

Situação 1: Contratação de demanda no valor de 250 kW

Com esta opção não haveria o pagamento de demanda de ultrapassagem em nenhum dos meses e o valor médio mensal pago pela cerâmica seria de R\$ 19.606,00.

Situação 2: Contratação de demanda no valor de 210 kW

Nesta opção ocorreria o pagamento de demanda de ultrapassagem em apenas um mês e o valor médio mensal pago pela cerâmica seria de R\$ 19.155,00.

Situação 3: Contratação de demanda no valor de 180 kW

Com esta opção de contrato haveria o pagamento de demanda de ultrapassagem em todos os meses e o valor médio mensal pago pela cerâmica seria de R\$ 19.443,00.

Sendo assim, a melhor opção de contratação seria a de 210 KW, que embora ainda tivesse um valor com ultrapassagem apresentou o menor custo médio mensal. Sendo assim, a economia anual gerada por essa opção seria de R\$ 3460,00 se comparada com a opção de 180 kW contratados, ou de R\$ 5.420,00 se comparada com a demanda contratual de 250 kW.

8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEMIG, Manual de instalações elétricas residenciais, gerência de utilização de energia, Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

BERNI, M., BAJAY, S., GORLA, F., Oportunidades de eficiência energética na indústria: relatório setorial: setor cerâmico, Confederação Nacional da Indústria, Brasília, 2010.

MARQUES, M., HADDAD, J., MARTINS, A., Conservação de energia : eficiência energética de equipamentos e instalações, Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, Itajubá, 2006.

COPEL, Manual de eficiência energética na indústria, Companhia Paranaense de Energia, Curitiba, 2005.

COSTA, G., Iluminação econômica – Cálculo e avaliação, EDIPUCRS, Porto Alegre, 2013.

CREDER, H., Instalações elétricas. 14 ed. , LTC, Rio de Janeiro, 2000.

MARQUES, M., HADDAD, J. , GUARDIA, E. , Eficiência energética : teoria & prática – 1. Ed. , Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, Itajubá, 2007.

ROCHA, C., MONTEIRO, M. , Eficiência energética em sistemas de ar comprimido - manual prático. , Eletrobras / Procel, Rio de Janeiro, 2014.

ICT Universitas, Máquinas de fluxo (notas de aula), Fundação de ensino e pesquisa de Itajubá / Centro Universitário de Itajubá / Instituto de Ciências Exatas, Itajubá, 2009.

HENRIQUES JR, M., SCHWOB, M., FERREIRA JR, J., TAPIA, R., Manual de conservação de energia na indústria de cerâmica vermelha, Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1993.

KRAUSE, C., Manual de prédios eficientes em energia elétrica. , Editora: IBAM/ELETRONBRAS/PROCEL. , Rio de Janeiro, 2002.

SCHNEIDER, Tabela para seleção de motobombas, Schneider, Joinville, 2011.

SILVA, E., Apostila de pneumática - Sistemas Fluidomecânicos, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**



swisscontact

INSTITUTO
NACIONAL DE
TECNOLOGIA

INCT

95
anos

Ministério da
**Ciência, Tecnologia,
Inovações e Comunicações**